

A tananyag címe

## Dr Szénásy István: Villamos hajtások

Egyenáramú állandómágneses motorok és hajtástechnikai alkalmazásaik. Szinkron- és aszinkron motoros járműhajtások

---

4. A modul címe **Energiatárolás és hibrid járművek**

4.1 lecke: A lecke címe **Energiatárolás járművek**

## Cél

az alábbiak megismerése:

- a tárolható energia számítása,
- az energiatárolók fajtái,
- az ultrakondenzátor tulajdonságai, üzemi jellegzetességei,
- a tárolók energetikai kapcsolatai járműben,
- lendkerekes tárolók sajátosságai

## Követelmények

*A hallgató legyen képes lerajzolni*

- az energiatárolós járműhajtás elrendezését,
- a kapacitív és az akkutelepes tárolók töltési-kisütési görbéit.

*A hallgató saját szavaival tudja ismertetni az alábbiakat:*

- a tárolható energia számítása,
- Li-ion akkutelepes tárolók akku-menedzsmentje, töltési korlátozások, élettartam-megőrzés,
- lendkerekes tárolók felépítése, sajátosságai, a tárolt energia, a precessziós nyomaték,

Kulcsfogalmak: az energia visszatáplálhatósága, akku-menedzsment, ultrakondenzátor, precessziós nyomaték

## Időszükséglet

A tananyag elsajátításához *körülbelül 90 percre* lesz szüksége

# Tananyag

## Bevezetés

Gyakorlatilag elsősorban a jármű mozgási energiájának megőrzéséről van szó, és majdani célszerű felhasználásáról. Általában és leggyakrabban a megállni készülő, vagy lassítandó járműnek a mozgási energiáját fékezés közben energiátárolóba töltik, és a legközelebbi indításkor felhasználják.

Ritkábban a lejtőn lefelé haladó jármű helyzeti energiájának tárolása is felvetődik, de néhány száz méter vagy nagyobb magasságkülönbség energiataralma már használhatatlanul nagyméretű tárolót kívánna.

## 1. A jármű mozgási energiája

$$E = m v^2/2,$$

ahol  $m$  a járműtömeg, és  $v$  annak sebessége.

és ha az összehatásfok a tárolás során az energiaátalakításokban elérné a 81%-ot, az indulás utáni sebesség elérheti a fékezés előttinek 90 %-át.

Az energia tárolása általában energiaátalakításokkal történhet – leszámítva az egyszerű mechanikus kapcsolattal épült lendkerekes tárolókat, de ezek használata a kötöttségek miatt korlátozott. A tárolókhoz vezető út járművekben leggyakrabban villamos energiaként járható.

## 2. Járművekben használatos energiátárolók

- akkumulátorok,
- kondenzátor-telepek,
- lendkerekes tárolók,
- szupravezető induktivitásokban keringő villamos áram energiáját tárolók, de közúti járműveken még nem realizálhatók.

A jármű fékezéséhez a lendkerekes megoldásnál is villamos motorra van szükség, annak is a generátoros üzemére. Ezt az üzemiállapotot jól kezelhetőnek kell kialakítani, mert a fékezési folyamat, különösen gépjárműveknél nagyon finom fékerő-változtatási lehetőségeket igényel.

Mind az aszinkron-, mind a szinkron motorok mai irányítási technikája ennek a követelménynek eleget tesz.

Gépjárműveknél, de még a felsővezetékes trolibusznál is csak külön beépítendő energiatároló lehet alkalmas a tárolásra, mert a visszatáplálás feltételei nincsenek meg.

Vasúti járművek energiatárolás helyett a felsővezetékbe táplálhatják vissza a fékezési energiát, ha a jármű energiaciclus ezt lehetővé teszi.

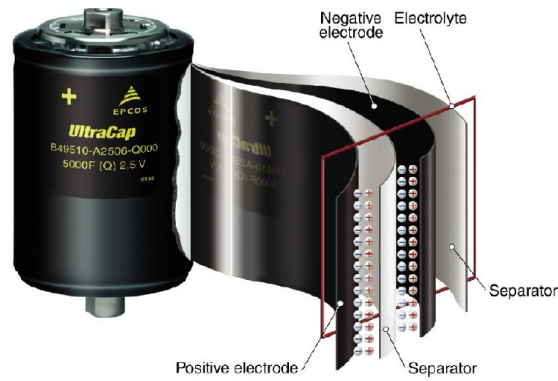
A járművek üzemének jellegétől függ az energiamegtakarítás lehetséges mértéke, itt továbbra is a fékezéskor visszanyerhető energiára gondolva. Városi jellegű közlekedési körülmények, kis megállótávolságok, vagy forgalmi okok miatti rövid távolságok gyakori fékezésre kényszerítik a járművet, és jelentős lehet az eltárolt és újrafelhasznált energia aránya.

Távolsági közlekedés, nem-városi jellegű forgalom nem teszi lehetővé jelentős arányú energiamegtakarítást a fékezési energiából.

Mindezeket elemezve, a városi üzemű gépjárművek, autó- és trolibuszok, a városi villamosvasutak, metrószerelevények energiatárolóval ellátása lehet célszerű.

### **3. Ultrakondenzátor**

Különleges anyagú és extrém nagy felületi kialakítású elektrolitja révén szokatlanul nagy tárolóképességűvé vált, így ma egy  $0,5 \text{ dm}^3$  térfogatú cella a régebben még elképzelhetetlenül nagy, 5000 F kapacitásúvá válhatott, de cellánkénti feszültsége alacsony, tipikusan 2,4 V, de legfeljebb 2,7 V, 1. ábra.



1.ábra: Ultrakondenzátor gyári ismertetőjének képe, utalva a különleges technológiájú kivitelre. Feliratok: separator: elválasztó és szigetelő lemez

A tárolt energia

$$E = CU^2/2$$

ahol C a kapacitás, U a cellafeszültség.

A kivett, vagy kivehető energia, ha az alsó feszültség értéke  $U_{min}$ , tapasztalat szerint célszerűen legalább 40 %-a a  $U_{max}$  -nak:

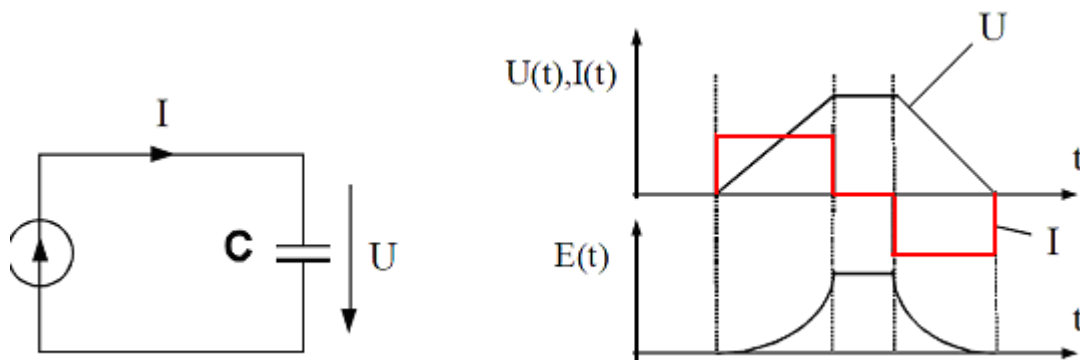
**Tevékenység:** Jegyezze meg a kondenzátorból kivehető energia mennyiségét.

$E = C(U_{max}^2 - U_{min}^2)/2$ , azaz a feszültségnégyzetek különbségével arányos. A gyártók az alsó feszültségértéket a felsőnek legalább 50 %-ára ajánlják beállítani.

**Tevékenység:** Jegyezze meg a kondenzátor töltési-kisütési U, I, E görbéit.

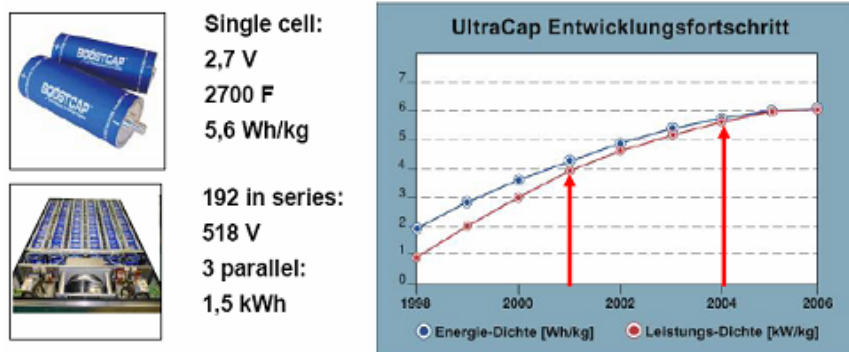
Áramgenerátoros táplálásnál, 2. ábra, a feszültség a kondenzátor sarkain az idővel lineárisan nő, az

$I = 0$  esetben változatlan, és ugyanazon  $-I$  értéknél az előzőével azonos sebességgel csökken. Az alsó ábrán az energiaszint változása figyelhető meg, ez a fenti képleteknek megfelelően a feszültség függvényének idő szerinti integrálja.



2. ábra. Kondenzátoros energiatároló feszültségének és tárolt energiájának változása állandó áramú töltéssel, majd kisütéssel

Tekintve, hogy egy cella tárolóképessége a 2,7 V érték miatt még nagyobb méreteknél is erősen korlátozott, továbbá a nagyobb energiamentisíget az áramok mérsékelt növelése érdekében főként a feszültségszint növelésével tárolhatunk, a mai járművek 300 V és 2800 V közötti értékre tervezett feszültségszintjét akár több száz cella sorba kapcsolásával érhetjük el, 3. ábra.



3 ábra: járműalkalmazásra gyártott kapacitív energiatároló főbb adatai és jelleggörbéi

A nagyobb kapacitáshoz a cellák párhuzamosan is kötendők, esetenként nagyszámú parallel ággal, és a cellák között kiegyenlítő feszültségosztókkal. Mindezek miatt, és e kondenzátor-fajta önmagában is magas ára miatt egy ilyen kondenzátorteleg fajlagos költsége a hasonló tárolóképességű Li-Ion akkuénak többszöröse, de várható élettartama is. 1. táblázat.

	Energy density (Wh/kg)	Power density (W/kg)	Life span (cycle)	Cost
Ultra Capacitor	6	500	Infinity	High
Lead Acid Battery	40	300	500	Low
Nickel-Metal Hydride Battery	40~70	200~700	1000	Average
<b>Lithium-Ion Battery</b>	<b>30~130</b>	<b>30~1400</b>	<b>1000</b>	<b>High</b>
Flywheel	~50	1000~	Infinity	Average

1. táblázat. Az egyes energiatárolók Kondenzátoros, ólom-, Ni-MH és Li-Ion akkumulátorok, valamint a lendkerekes tároló összehasonlítása fajlagos energiasűrűség, teljesítmény-sűrűség, élettartam és költségek szerint. Feliratok: flywheel: lendkerék, life span: élettartam, cost: költségek, average: átlagos

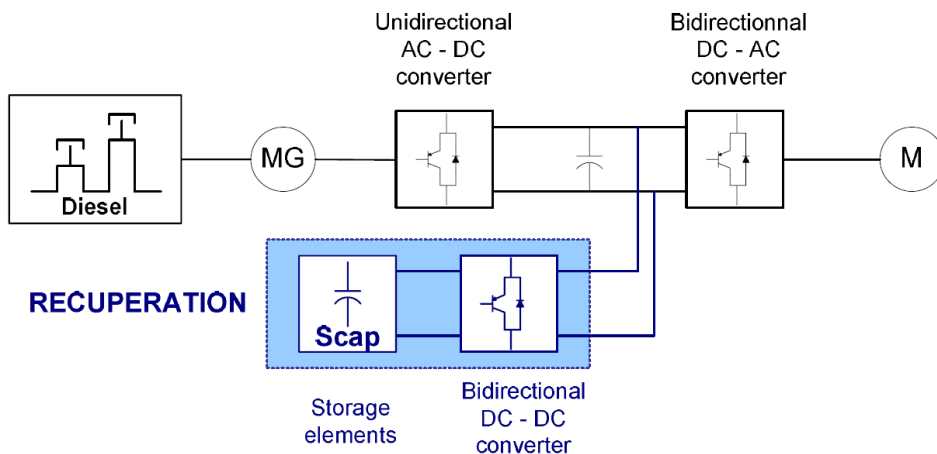
#### 4. A tárolók energetikai kapcsolatai járműben

Tevékenység: tanulmányozza az energiatárolós jármű 4. ábra szerinti felépítését.

Jegyezze meg az egyenfeszültségű körhöz csatlakozást DC-DC konverterrel.

A kondenzátoros energiatárolók alkalmazása a szigorúan veendő maximális feszültség szint- és olykor a töltőáram korlátok miatt, de rendszertechnikailag is egy önálló DC-DC konvertert igényel, amelynek az irányítását általában a jármű energia-felügyelete, -menedzsmentje látja el.

Alkalmazása az egyenfeszültségű körhöz DC-DC konverteres csatlakozással történik, mint az 4. ábrán, példaként egy dízelmotoros svájci-olasz vasúti motorkocsi esetében is. Az MG jelű szinkron generátor háromfázisú áramát egyenirányítja az egyirányú üzemi AC-DC jelű blokk. Az egyenáramú közbenső körre csatlakozik a külföldi szóhasználatban többnyire „supercapacitor” elnevezésű kondenzátortelep a kétirányú üzemi DC-DC konverteren keresztül.



4. ábra. Svájci-olasz tervezésű energiatárolós járműhajtás elvi vázlata magashegyi motorvonat részére. Az energiatárolás rendszertechnikai elvi felépítése bármely villamos hajtású közúti járművel is azonos. Trolibusznál elmarad a belsőégésű motor, de újabban kisebb teljesítményűvel elláthatják, önálló mozgóképesség érdekében. Feliratok: visszatáplálás, tároló elemek, kétirányú DC-DC konverter

## 6. Töltés-kisütés, energiamedzsment

A kapacitív tárolók előnye általában a nagy töltő-kisütő teljesítmény, amely járművekbeli alkalmazását elfogadható tömeggel lehetővé teszi. A mai korszerű akkumulátorokkal szemben ez az előnye lassanként elfogy, amivel azok is tölthetők már majdnem elegendően nagy árammal, ami féküzemben szükséges, ráadásul azok fajlagos tárolóképesége közel egy nagyságrenddel nagyobb, amit a táblázatban látható, azaz kisebb hely- és tömegigényűek.

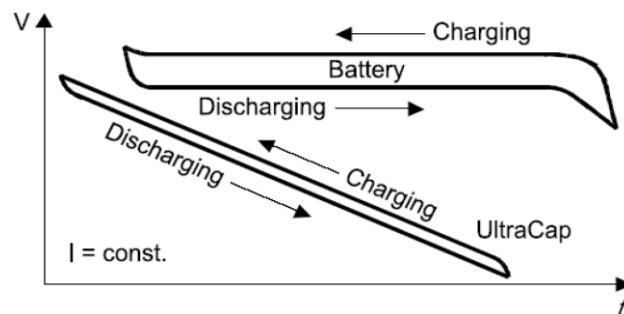
Az alábbi, 5. ábra a töltési-kisütési folyamat alatti feszültség változását mutatja akkumulátorokra és kondenzátorra, utóbbinál a két párhuzamosan futó vonal távolsága a láthatóság érdekében túlzott.

**Tevékenység:** rajzolja le és jegyezze meg a kapacitív és akkutelepes tárolók feszültség-idő töltési-kisütési görbéit a 5. ábra szerint.

Az akkumulátoroké fajtánként eltérő, mert amíg az ólom alapúaknál cellánként 1 V a különbség, ami 15 % körüli érték. A Li-ion típusúaknál a 4,2-3,3 V értékek közti megengedett változás már 24 % -ot jelent a 3,7 V középpértékre nézve. Utóbbiak görbéi alfajtánként is eltérőek, és a töltőberendezéssel



szigorúan betartandók. Az ábrán rajzolthoz képest a kondenzátortelep görbéi meredekebbek is lehetnek, töltőárama erősen változhat, míg a Li-ion akkutelep görbéje a tipikus gyári görbét követi.



5. ábra. Kapacitív és akkutelepes tárolók töltési-kisütési görbéi. Feiratok: charging: töltés, discharging: kisütés

A hibrid gépjárművekben használt akkutelepek még többnyire a nagyon biztonságos NI-MH típusok, de terjed a Li-ion fajták alkalmazása is. Ez utóbbiak túltöltése belső átalakulást, melegedést és tűzveszélyt okoz, emiatt kellő óvatossággal és körültekintő cellafelügyeleti konstrukcióval és töltőberendezéssel lehet e fajtákat tömegesen alkalmazni. Hatásfokuk kisütő áramtól is függően 90-95 %, de 99 %-os értékről is van irodalmi forrás.

Biztonságos üzeme a cellánkénti villamos jellemzők és a hőmérséklet folytonos ellenőrzését, továbbá adott áram-korlátú cellakegyenlítést is szükségessé teszi. A tennivalókat az elterjedt akkumenedzsment, battery-management jelölés már elfogadott nemzetközi, illetve EU szabványok szerint fogalmazza meg, nem elhanyagolható költség-többlettel realizálhatóan.

Az akkutöltő berendezésnek, amely járműben egy nagyteljesítményű DC-DC konverterrel dolgozik együtt, az akku-fajtához illeszkedő, annak a lehető leghosszabb élettartam elérését célzó töltési-kisütési karakterisztikáját kell megvalósítania, de függetlenül a jármű aktuális üzemiállapotától - ami számos gondot vet fel.

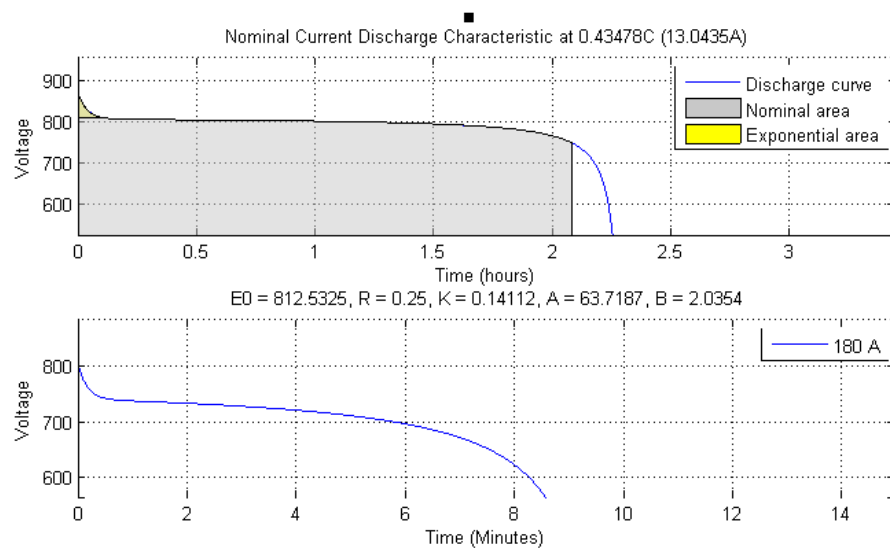
**Tevékenység:** tanulmányozza és jegyezze meg a hosszú akkutelep-élettartam elérésének feltételrendszerét.

Mindehhez szükségesek

- az akkutelep megfelelő méretezése,

- a hosszabb élettartamot adó mérsékelt kisütés értékének betartása a benmaradó energiára minimum 40, de inkább 60 %. Növekvő ciklusszámhoz és hosszú élettartamhoz kisebb kihasználási fok tartozik,
- a feszültségmaximum 92-95 %-os kihasználása,
- 
- a nem várt esetekre, például hosszabb lejtőn ereszkedve teletöltött akkutelep esetén a villamos fék teljesítményének átirányítása fékellenállásra, ha van,
- vagy a villamos fékezés megszüntetése és önműködően a mechanikus fékkel helyettesítése,
- számítógépes rendszerirányítás,
- önműködő diagnosztikai rendszer létezése,
- megbízható akkumulátor gyártás.

A mai jármű akkumulátorok jármű-modellbe illesztett egységeinek modellje is megtalálható már a Matlab-Simulink szimulációs rendszerben. Az akkumulátor-modell kinyitása után választhatjuk meg, hogy ólom-, Ni-MH vagy Li-ion típusból állítjuk-e össze a beírható eredő feszültségű és össztárolókapacitású energiatárolót. A modell igen összetett folyamatok leképezésével gyakorlatilag valószerű folyamatokat futtat és görbéket ad eredményként. Az alábbi 6. ábrakettős egy kissé, 0,43478 C értékű, 13.0435 A-el terhelt és egy erősen, 180 A-el terhelt áramú, Li-ion akkumulátor kisütési folyamatának feszültség- időfüggvényeit mutatja.



6. ábra. Li-ion akkumulátor-telepnek egy trolibuszba tervezett 750 V, 3 Ah-s modellje kisütési jelleggörbéi a gyártói ajánlású névleges és 6C kisütő áramra, a modell számításai szerint. Megfigyelhető, hogy a 13 A-es kisütő áram (fent, 800 V-os terhelés alatti kapcsolófeszültség) helyett 180 A használata (alsó ábra) 745 V-ra, majd 700 V alá csökkenti az akku kapcsolófeszültségét. A kivehető teljesítmény a feszültségcsökkenés arányában lesz kisebb ugyanazon áram mellett. Feliratok: névleges kisütő áramú karakterisztika, kisütési görbe, névleges terület, exponenciális terület, idő (órákban), alul: idő, percben

## 7. Lendkerekkes energiatárolók

Tevékenység:

Jegyezze meg

- a tárolt és a kivett energia számítását,
- a precessziós nyomaték számítását,
- a lendkerékben felhalmozott energia veszélyességét.

Trolibuszba épített kísérleti energiatároló képe látható a 7.ábrán. A tárolóegység a busz hátsó részébe került beépítésre, a rugalmas felfüggesztést lehetővé tévő védőkerettel. A nagyobb egységek vákuumban, és mágneses támasztású csapágyazással futnak, így az energiavesztés kisebb, mint 1 % óránként. Az építési anyag itt karbonszálás műanyag, amelyet nagyon biztonságosnak ítélték, balesetben nem tud további kárt tenni.

A legnagyobb fordulatszám ennél a kivitelnél 60 ezer /perc. A jobboldali képen látható a villamos gépének tekercselése, háromfázisú szinkron motor/generátor feladatpárra.

Csatlakozása a jármű energiarendszeréhez a 4/4-es inverterén keresztül történik, amely mindkét üzemállapotban elvégzi az áramirányítás és -szabályozás feladatait. Az energia-irányítást, hogy a lendkerék aktuális feladatként energiát vegyen fel, vagy adjon le, a járműirányító számítógép látja el, a mért adatok figyelembevételével, az inverternek adott vezérlőjelekkel.

A tárolt energia:

$$E = \theta \omega^2 / 2,$$

és a kivett energia:

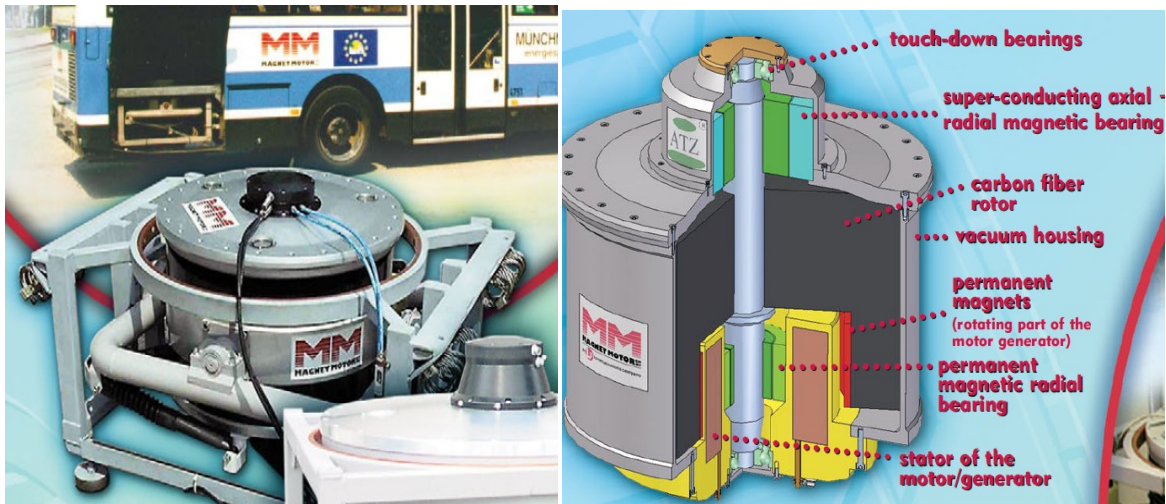
$$E = \theta (\omega_{\max}^2 - \omega_{\min}^2) / 2,$$

azaz a sebességnégyzetek különbségével arányos. A  $\theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka, és  $\omega$  a szögsebesség.

A félssebességre csökkentés már a tárolt energia 75%-ának kivételét jelenti. Emiatt, és mert a tároló szinkron motorjának feszültsége is csak  $\frac{1}{4}$  értékű e pontban a névlegeshez viszonyítva, és adott teljesítményt már csak túl nagy árammal tudna fogadni, az alsó fordulatszám értéke célszerűen nem 50 %, hanem 60-70 %.

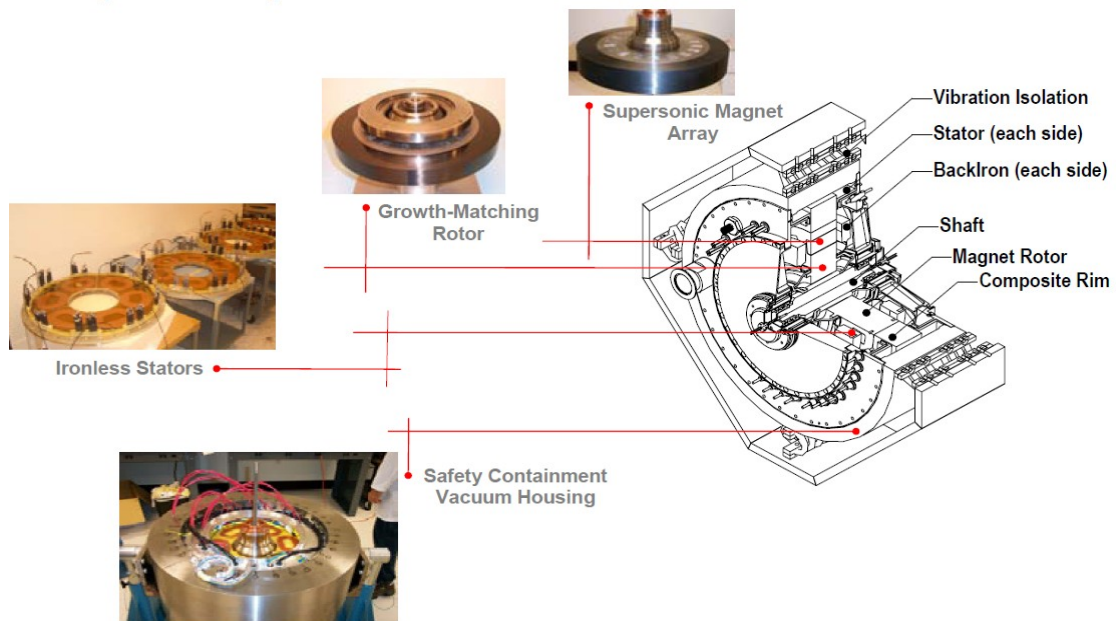
A lendkerekes tároló elsősorban az igényes gépészeti megoldások, de a nagy frekvenciával üzemelő szinkron motor és invertere miatt is költséges energiatároló-fajta. Fajlagos adatai tömeg- és térfogategységre az ultrakondenzátor és a Li-ion akkutelepeké között vannak. Egy 250 kg tömegű egység teljesítménye 50-150 kW közti, tárolt energiája 1-3 kWh közötti érték.

Trolibuszba készült kísérleti lendkerekes energiatároló egyes részletei láthatók a 7. ábrán.



7. ábra. Trolibusz-alkalmazásra fejlesztett lendkerekes energiatároló, és vákuumban futó belső elrendezése  
Felirat: karbon szálás rotor

Más gyártó által kifejlesztett megoldás látható a következő, 8. ábrán. Az alkalmazott villamos gép itt egy még kevésbé terjedő elrendezésű állandó mágneses szinkron motor, axiális kivitelben, fajlagosan több mágnesanyaggal, de vasmentes, rövid építésű állórészsel, és a többtől eltérően



8. ábra: Vegyes, acél- és szénzálás konstrukciójú lendkerekes tároló felépítése, tárcsa alakú, vastest nélküli állandó-mágneses szinkron motorral. Felirat: vasmentes állórész, speciális illesztésű rotor, nagysebességre készült mágnescsoport, rezgésszigetelés, backiron: fluxusvisszavezető vaskeresztmetszeti rész, shaft: tengely, each side: mindkét oldalon, composit rim: kompozit csatlakozó perem, lent: biztonságos kivitelű vákuum-ház

vízszintes tengelyű konstrukcióval.

Az eddigi alkalmazásokat és elterjedtségüket áttekintve megállapítható, hogy a leggyakoribbak az akkumulátoros kivitelű energiatárolók. A kapacitív tárolók azon előnye, hogy fékezéskor nagy töltőteljesítményt tudnak felvenni, a Li-ion akkumulátorok fejlődésével, és üzemének biztonságosabbá válásával jelentősen mérséklődött az utóbbi években, elsősorban ez utóbbiak nagyobb tárolóképessége miatt.

A lendkerekes tárolók eddigi gyakoribb alkalmazásai a szünetmentes tápegységek voltak, ahol – a gyártó ajánlása szerint- 100 kW teljesítményt kellett pótolni fél perc-néhány perc időtartamra. Ezek az egységek kb. 1 m<sup>3</sup> térfogatúak, 150-300 kg tömeggel.

Az új F1 versenyautók tisztán mechanikus hajtású, legfeljebb 60 ezer/perc fordulatszámú lendkerekes tárolói 60 kW teljesítményt tudnak átvinni, néhány másodpercig. Rendszerbe illesztésüket CVT – rendszerű fokozat nélküli sebességváltóval oldották meg.

A Li-ion akkutelepek nagyobb tárolóképességűek, emiatt ezen a területen, ahol több száz kWh energia tárolására lenne szükség, a lendkerekes tárolóknak csak akkor lehetne jövőjük, ha a

fordulatszám jelentős emelése megoldható volna: 3,162 szerez  $\omega$  növelés a tárolt energiát már egy nagyságrenddel növelné.

*A precessziós nyomaték:*

**Tevékenység: Jegyezze meg a precessziós nyomaték számítását.**

A nagysebességű lendkerék megtartja forgási síkját, és az abból kitérítés csak az  $M_{pr}$  precessziós nyomaték ellenében lehetséges:

$$M_{pr} = \Theta \omega_1 \omega_2,$$

ahol

- $\Theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka,
- $\omega_1$  a lendkerék szögsebessége,
- $\omega_2$  a forgástengely kitérítésének szögsebessége.

Normális közlekedési viszonyok között a kitérítés szögsebességeként, a precessziós nyomaték okaként jelölhető jármű-dőlés vagy fordulás szögsebessége mérsékelt, a keletkező precessziós nyomaték a normál járműlengések lefolyására nincs hatással, ennek ellenére a rugózott tokba helyezés célszerű.

*A lendkerékben felhalmozott energia nagysága*

Az egy megállító fékezés mozgási energiáját tárolni képes lendkerék mozgási energiája azonos a fékezés-kezdeti járműsebességből számítható energiával, másként azzal az energiával, amellyel a jármű fékezés nélkül, álló akadálynak ütközne, s ez igen tekintélyes munkavégző képesség:

$$E = \frac{\Theta \omega^2}{2} = \frac{m v^2}{2},$$

ahol  $\omega$  a lendkerék szögsebessége,  $m$  a járműtömeg, és  $v$  annak sebessége.

A lendkeres tárolók járműbalesete az acél lendkerék esetleges elszabadulásával további súlyos károkat okozhatna, ezért anyaguk az acél helyett többnyire szénszálal vagy kevlár-szálal kompozit. Ezek erős mechanikai behatásra porrá zúzódnak, nincs romboló hatásuk.

### Önellenőrző kérdések

#### 1 Válassza ki a helyes válaszokat

- A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)/2$ ,
- A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)$ ,
- A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = 2C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)$
- A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = C(U_{\max} - U_{\min})/2$ ,

#### 2 Jelölje meg azokat a szempontokat, amelyektől függ a Li-ion akkutelep élettartama:

- az akkutelep megfelelő méretezése,
- megbízható akkumulátor gyártás.
- az alkalmazott kisütés mértéke
- a feszültségmaximum kihasználása,
- a megengedett töltőáram-maximum alkalmazása,
- a hosszabb élettartamot adó mérsékelt kisütés értékének betartása a bennmaradó energiára minimum 40, de inkább 60 %.
- a jármű városi vagy országúti közlekedési jellege ugyanazon kihasználási mértéknél.

#### 3 Melyik a jó válasz?

a) A jármű mozgási energiája  $E = m v^2$ , ahol  $v$  a járműtömeg, és  $m$  annak sebessége. Ha az összhatásfok a tárolás során az energiaátalakításokban elérné a 81%-ot, az indulás utáni sebesség elérheti a fékezés előttinek 90 %-át.

b) A jármű mozgási energiája  $E = m v^2/2$ , ahol  $m$  a járműtömeg, és  $v$  annak sebessége. Ha az összhatófok a tárolás során az energiaátalakításokban elérné a 91%-ot, az indulás utáni sebesség elérheti a fékezés előttiének 90 %-át.

c) A jármű mozgási energiája  $E = m v^2/2$ , ahol  $m$  a járműtömeg, és  $v$  annak sebessége. Ha az összhatófok a tárolás során az energiaátalakításokban 49 %, az indulás utáni sebesség elérheti a fékezés előttiének 70 %-át.

d) A jármű mozgási energiája  $E = m v$ , ahol  $m$  a járműtömeg, és  $v$  annak sebessége. Ha az összhatófok a tárolás során az energiaátalakításokban elérné a 81%-ot, az indulás utáni sebesség elérheti a fékezés előttiének 90 %-át.

Válassza ki a helyes válasz(oka)t!

A lendkerék *forgástengelye legyen függőleges*, és házának nincs további tengelyek körüli elfordulási lehetősége, azaz akadályoztatáskor az  $M_{pr}$  fel fog lépni. Az  $\omega_2$ -nek jelölt szögsebesség a jármű valamelyik irány szerinti mozgásából származik, illetve vehető/veendő figyelembe.

$$M_{pr} = \Theta \omega_1 \omega_2,$$

a) ahol

- $\Theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka,
- $\omega_1$  a lendkerék szögsebessége,
- $\omega_2$  az autó kanyarodási szögsebessége.

b) ahol

- $\Theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka,
- $\omega_1$  a lendkerék szögsebessége,
- $\omega_2$  az autó szögsebessége a kereszt tengely körüli bukácsolásban.

c) ahol

- $\Theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka,
- $\omega_1$  a lendkerék szögsebessége,
- $\omega_2$  az autó hossz tengelye körüli jobbra-balra dőlés szögsebessége

d) ahol

- $\Theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka,
- $\omega_1$  a lendkerék szögsebessége,



- $\omega_2$  az autó hossz tengelye körüli dőlés, továbbá egyidejűleg fellépő bukdácsolás vektorosan összegzett szögsebessége, vagy pedig külön-külön számításuk és az  $M_{pr}$  nyomatékok vektoros összegzése.

4.2. lecke: A lecke címe **Szinkronmotoros járműhajtások rendszere**

## Cél

megismerni a kialakult szinkronmotoros járműhajtások rendszertechnikáját, a különféle hibrid hajtásrendszerek főbb jellegzetességeit és tulajdonságait.

## Követelmények

A hallgató legyen képes lerajzolni:

- a soros, és a parallel hibrid rendszerek vázlatát,
- a VOLVO hibrid busz erőátviteli vázlatát.

saját szavaival ismertetni:

- a jó hatásfokú tartomány kiszélesítési lehetőségeit,
- a soros-, a párhuzamos- és a vegyes hibrid teljesítményátviteli rendszerek struktúráját és tulajdonságait,
- az eddigi hibrid járművek általános értékelését.

## Kulcsfogalmak

soros-, párhuzamos-, vegyes hibrid járműhajtások

## Időszükséglet

A tananyag elsajátításához *körülbelül 90 percre* lesz szüksége

## 1. Tananyag

### Bevezetés

Legnagyobb darabszámban,  $2 \cdot 10^6$  felett a hibrid személyautók szinkronmotoros hajtásai találhatók, legtöbbször két szinkron géppel, és mintegy 15 ezerre becsülhető a hasonló jellegű hibrid autóbuszok száma. Vasúti hajtásokban a francia államvasutak használ szinkron motorokat, mintegy ezer darabszámban, többek között az 570 km/h sebességű világrekordot elérő motorvonatban is.

### 1.Szinkronmotoros hajtások közúti járműveken

Tekintettel arra, hogy a szinkronmotor tekercselésének wattos veszteségei, a vasveszteségeken kívül a

$$P_{\text{veszt}} = I^2 R$$

összefüggés szerinti, és mivel a gépméret és -tömeg csökkentése fontos szempont, a kis feszültséggel járó nagy áramokhoz szükséges nagy rézkeresztmetszetek beépítése nem járható út, a feszültség növelése szükséges.

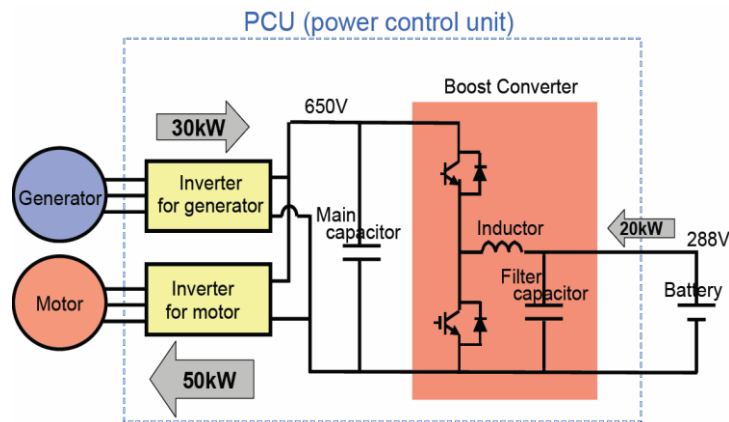
A villamos hajtású kerékpárok és robogók 0,3-5 kW teljesítményszintjein a 36 és 48 V feszültségek használhatóak, de a 30 kW feletti tartományban az akkufeszültséget a járműgyártók 250-280 V-ra emelték.

A nagyobb teljesítményű hibrid járművek szinkron gépeinek fordulatszámát az automata sebességváltóba építve megkétszerezték, hogy ugyanahhoz a teljesítményhez csak féllakkora nyomatékra legyen szükség, így a villamos gépek felső üzemi fordulatszáma már eléri a 12-14 ezer / perc értéket. Azonban emiatt a gépek belső feszültsége is megnőtt, így a tápfeszültségüket is kétszerezni szükséges. Az akkutelep feszültsége a cellaszámok növelésének hátrányai miatt nem alkalmazható, következésként feszültségnövelő DC-DC konverterek beépítése vált szükségessé. Az 1. ábrán mindezek jól követhetőek.

**Tevékenység:** tanulmányozza a hibrid hajtású jármű villamos erőátviteli rendszerét.

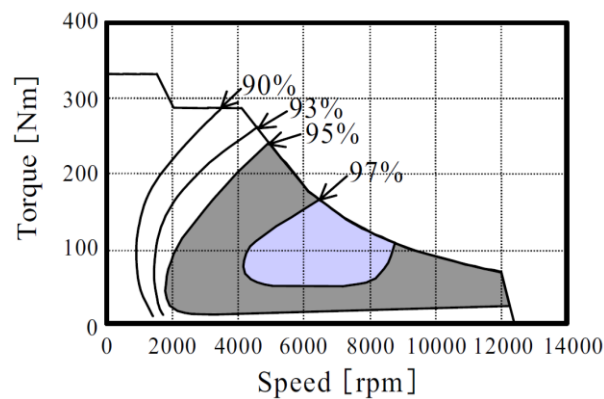
Egy konkrét járműben a generátor rendeltetésű szinkron gép 30 kW, a motor rendeltetésűé 50 kW névleges teljesítményű. Folyamatos üzemben az akkuból vehető ki még 20 kW teljesítmény, a

tárolókéesség határán belül. A járművet hajtó teljesítmény ezek összegénél a belsőégésű motorból a teljesítményosztón át vehető további, mintegy 35 kW-al nagyobb.



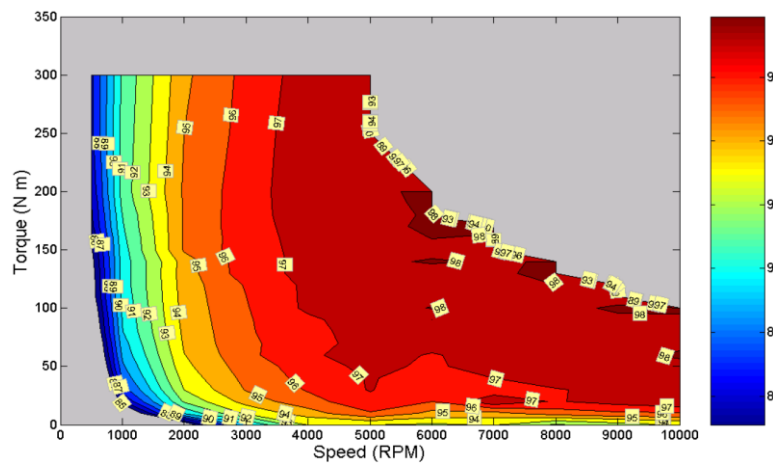
1. ábra. Hibrid jármű villamos hajtási rendszere, feszültségnövelő konverterek beépítése. Az induktivitás (inductor) a feszültségszint-növelő/csökkentő konverter működéséhez szükséges energiatároló eszközt jelenti. Feliratok: teljesítményvezérlő berendezés, fő kondenzátor, feszültségemelő konverter, induktivitás, szűrő kondenzátor

A növelt sebességű motorok hatásfoka így kedvező tudott maradni, 2. ábra.



2. ábra. A szinkronmotor hatásfok mezejének alakulása a fordulatszám kétszerezése után. A 97 %-os mező nem általános, kiemelkedően magas hatásfok érték

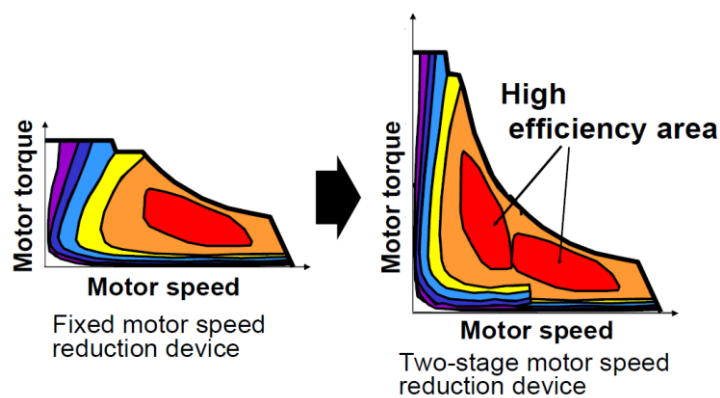
Az inverter megfelelő méretezésével annak hatásfoka széles tartományban jó értéken, 96-98 %-on tartható, 3. ábra



3 ábra. Az inverter hatásfokmezeje a nyomaték-fordulatszám mezőben

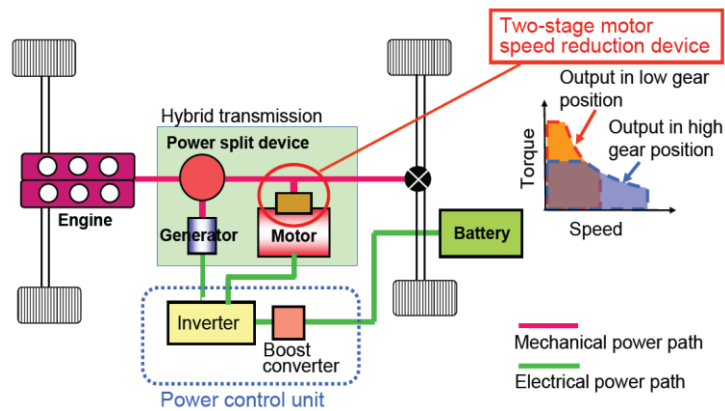
**Tevékenység:** tanulmányozza és jegyezze meg a kétfokozatú sebességváltó használati előnyeit.

Kétfokozatú sebességváltó használata a legjobb hatásfokú mezőt kiszélesíti azáltal, hogy a két fokozathoz tartozó munkaterület egymáshoz közel helyezkedhet el a motoréban, ha az egyes fokozatok áttételeinek aránya megfelelően közel esik egymáshoz, 4.ábra.



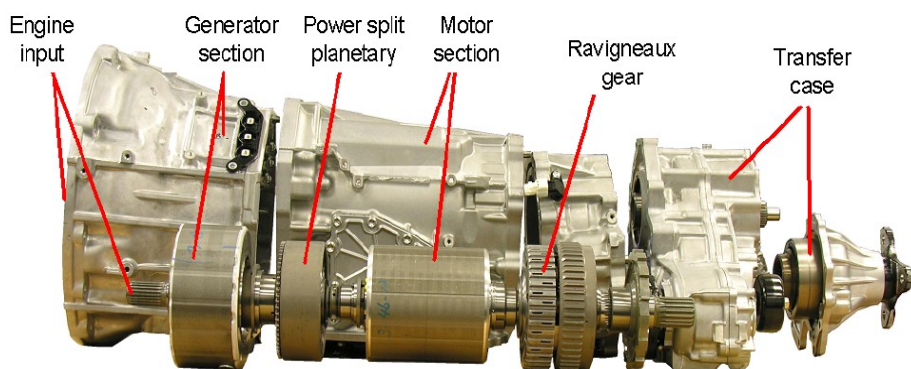
4. ábra. A jó hatásfokú tartomány kiszélesítése 2, vagy több fokozatú sebességváltóval a villamos motor nyomaték-sebesség ábrájában. (feliratok: fix áttételű sebességcsökkentő eszköz, kétfokozatú sebességcsökkentő eszköz, magas hatásfokú terület)

Az 5. ábrán a kétfokozatú sebességtartomány alkalmazását lehetővé tévő járműhajtás kiviteli elrendezése látható.



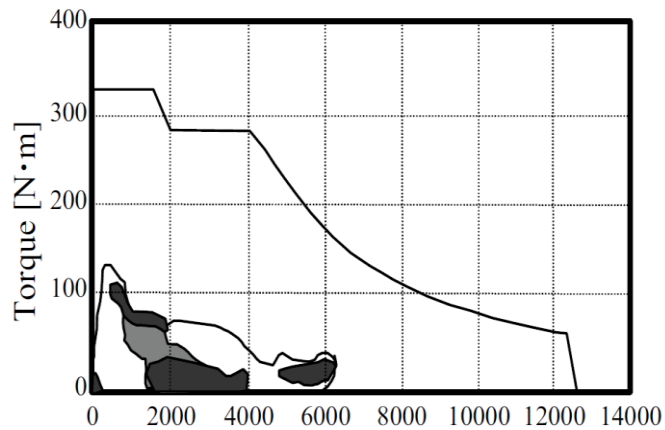
5. ábra. A jó hatásfokú tartomány kiszélesítéséhez szükséges 2 fokozatú sebességváltó szerepe. Feliratok: hibrid erőátviteli rendszer, teljesítmény-osztó, kétfokozatú sebességcsökkentő egység a villamos motorhoz. A kis ábrán: nyomaték-sebesség ábra, kihajtás az alacsony fokozatban, kihajtás a magas fokozatban. Piros vonal: mechanikai-, zöld: villamos teljesítmény útja

Az alábbi, 6. ábrán többfokozatú áttétellel készült automata sebességváltó belső fő hajtáslánca látható.



6. ábra: Nagyobb teljesítményű hibrid jármű kétszeres névleges sebességű szinkron generátorának és motorjának forgórészei, a teljesítményosztó feladatú bolygómű és a vezérelhető tengelykapcsolók láthatók az automata sebességváltó belső erőátviteli tengelyszakasz részeként, a sebességváltó házán kívül elhelyezve és bemutatva. Feliratok: benzinmotor behajtás, generátor-szekció az áthajtó tengelyen, bolygóműves teljesítményosztó, Ravigneaux-típusú csúszo tengelykapcsolós fokozatváltó, átviteli ház-részek

Városi üzemben közlekedő járművek kis sebességgel, és általában kisebb nyomatékkal működtetik a hajtó villamos gépet, 7. ábra, mérési eredmények alapján berajzolt mezőkkel.



7. ábra. Jellemző fordulatszám-nyomaték tartományok városi üzemben, a teljes jellegmezőn belül

## 2. A teljesítmény-átvitel hibrid rendszerei

Lehetséges, eddig kialakult teljesítmény-átviteli módok, amelyek a konstrukciót, és az üzemvitelt egyaránt befolyásolják:

- soros-,
- párhuzamos,
- soros-parallel hibrid

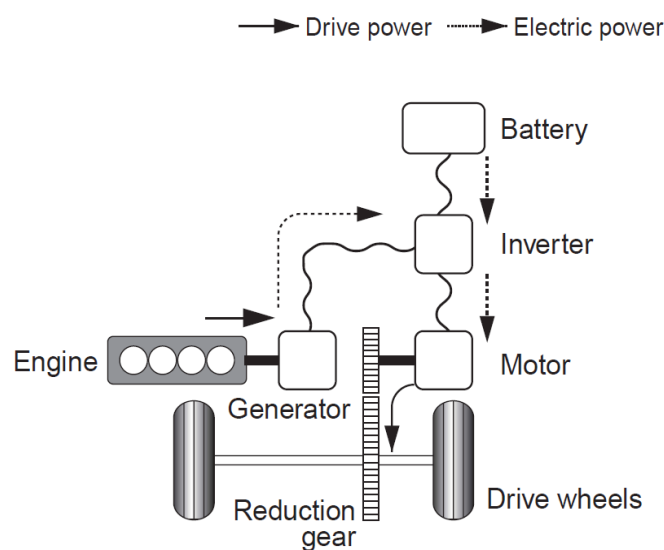
rendszerek, az alábbi ábrákon látható elvi vázlatok szerint.

### 2.1.Soros hibrid teljesítmény-átvitel

Tevékenység: tanulmányozza és jegyezze meg a soros-hibrid hajtásrendszerek elemző és összehasonlító leírását, továbbá tanulja meg lerajzolni.

A belsőégésű motor mechanikai energiája teljes egészében villamos energiává alakul a generátorban, és közvetlenül is, illetve az akkutelepből folyik a villamos motorba – ezek hibrid autóbuszokban szinkron vagy aszinkron motorok, személygépkocsiban általában szinkron motorok.

A legegyszerűbb változat, de mivel a jármű meghajtó villamos motorjának a járműszerkezet felé a kihajtó nyomatékot egyedül kell kifejtenie, így a motor nagyobb névleges nyomatékú, méretű és tömegű, mint a többi változatban.8. ábra.



### Series hybrid system

8. ábra. Soros hibrid rendszerű teljesítmény-átvitel. Feliratok: drive power: hajtó teljesítmény, electric power: villamos teljesítmény, engine: belsőégésű motor, motor: villamos motor, sebességcsökkentő áttétel, hajtott kerekek

## 2.2. Párhuzamos hibrid teljesítmény-átvitel

Tevékenység: tanulmányozza és jegyezze meg a párhuzamos hibrid hajtásrendszerek elemző és összehasonlító leírását, továbbá tanulja meg lerajzolni.

Egy villamos gépe van, amely vagy motorként vagy generátorként üzemel, 9. ábra.

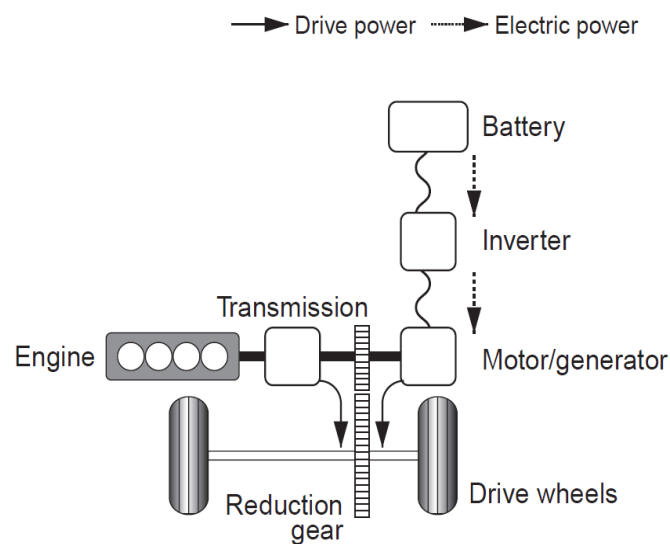


A belsőégésű motor mechanikai energiája csak részben alakul villamos energiává a generátorban. Itt csak az akkutelepből folyhat energia a villamos motorba.

Ugyanakkor a belsőégésű motor nyomatékának egy része az erőátviteli lánc elemein át mechanikai energiaként eljut a hajtott kerekekhez. Ez utóbbiakhoz így két úton érkezik hajtó nyomaték.

A villamos gép mint generátor tölti az akkutelepet, ekkor a hajtást csak a belsőégésű motor végezheti.

Egyszerű változat, de nem tud villamos nyomatékot kifejteni, ha épp generátorként tölt, mivel csak egy villamos gép van.



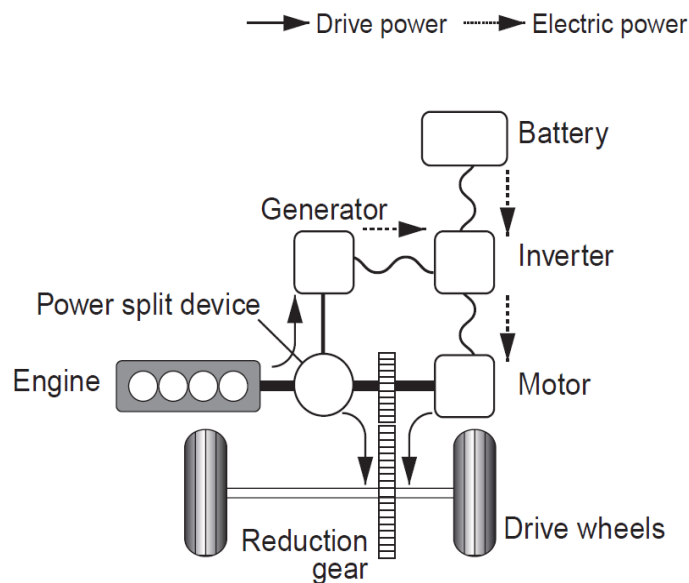
**Parallel hybrid system**

9. ábra. Párhuzamos hibrid hajtásrendszer. Generátoros üzemben az energia a generátorból a DC/DC konverteren át jut az akkutelepbbe, ilyenkor a jobb oldali nyilak felfelé mutatnak

### 2.3. Soros-párhuzamos vagy vegyes hibrid teljesítmény-átvitel:

Tevékenység: tanulmányozza és jegyezze meg a vegyes hibrid hajtásrendszerek elemző és összehasonlító leírását, továbbá tanulja meg lerajzolni.

Soros-párhuzamos vagy vegyes hibrid hajtás elve látható a 10. ábrán.



10. ábra. Vegyes, soros-parallel hibrid járműhajtás. A teljesítmény-osztó lehetővé teszi, hogy a belsőégésű motorból egyidejűleg áramolhasson az energia a járműkerekekhez, és a generátoron át az akkutelep felé. A jobb oldali villamos motor korlátozás nélkül hajthatja a jármű kerekeit. Feliratok: power split device: teljesítményosztó eszköz

A párhuzamos változat további módosítása, mindkét előző változat előnyeinek kihasználásáért. Két villamos gépe van, és hajtás üzemiállapotaitól függően használhatja hajtónyomaték kifejtésére vagy csak a villamos motort, általában elindulásakor, vagy a hajtásláncot a villamos motorral és a belsőégésű motorral.

A belsőégésű motor nyomatékának egy része itt is az erőátviteli lánc elemein át mechanikai energiaként szintén eljut a hajtott kerekekhez, másik része egy bolygóműves teljesítmény-osztón keresztül jut a generátorba, onnan pedig vagy az akkutelepbe, vagy közvetlenül a villamos motorba.

A jármű teljesítmény-irányítását tekintve ez a legbonyolultabb változat, mert az összes, a járműkerekeket hajtó nyomaték egyik részét adja a belsőégésű motor, a másikat a villamos motor. Egyúttal az előbbi nyomatékának egy része a generátor hajtására fordítódik. Ezek kívánt összhangjának megteremtése üzemiállapottól függően összetett feladat. A megoldást megkönnyíti, hogy a villamos gépek generátoros vagy motoros üzemiállapotai az invertereiken keresztül zérus és egy lehetséges maximális nyomatékkal beállíthatók, s az invertereiket számítógépes irányítás kezeli, amelyek a járműirányítástól kapják feladataikat.

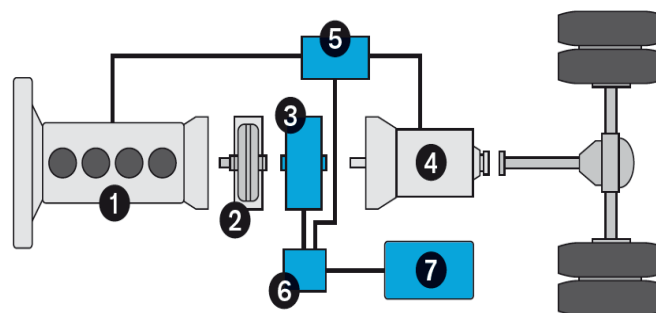
Egyes, különlegesnek mondható járműhajtási üzemállapotokban, így a kerékcúszás határánál vagy annak érzékelésekor, a generátoros féknyomaték szabályozásánál, és korszerű menetstabilizálási rendszereknél az ívmenetben történő nyomatékszabályozásnál mindkét nyomatékforrást tudni kell kezelni. Ehhez az egyes villamos gépek aktuális üzemébe történő hatékony és gyors beavatkozás, amely gyors és korszerű elvek szerinti érzékelést, megítélést és reagálást is tartalmaz, nélkülözhetetlen.

A villamos motor teljesítménye, illetve nyomatéka itt is kisebb lehet, mint a soros változatéban.

Ez utóbbi, vegyesnek is mondott hibrid-típus rendszertechnikailag láthatóan a legbonyolultabb, de a leghatékonyabb is.

**Tevékenység:** tanulmányozza és jegyezze meg Volvo hibrid hajtásrendszerét, továbbá tanulja meg lerajzolni.

Az alábbi, 11. ábrán egy más rajzi felépítésű, de tulajdonságaiban a fentebb ismertetettel azonos tulajdonságú parallel hibrid hajtás látható, Volvo hibrid buszba építve. A 2. jelű hidraulikus tengelykapcsoló szétkapcsolt állapotában a jármű az akkumulátorról üzemelhet, összekapcsolva a dízelmotor és a villamos gép nyomatéka is áthalad a sebességváltón. Ekkor nem tud tölteni, mert itt is csak egy villamos gép van.

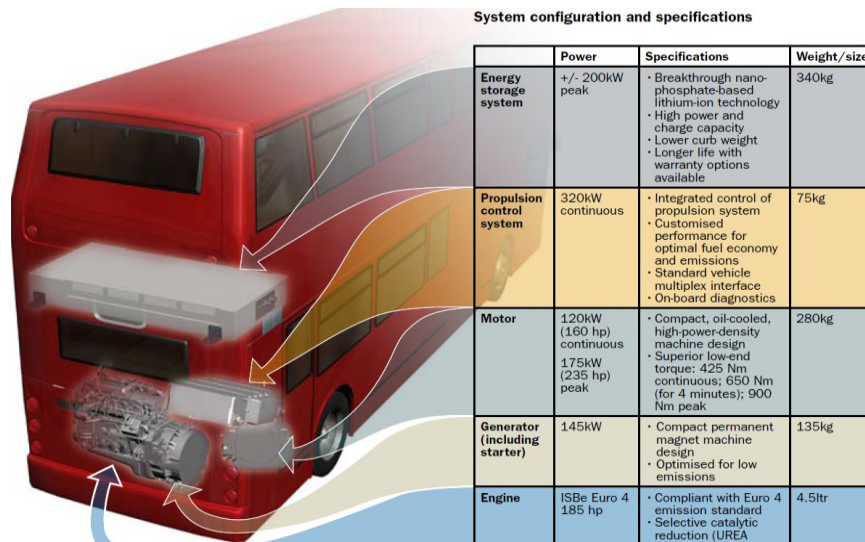


#### The hybrid bus's main components

1. Diesel engine
2. Clutch
3. Electric motor/generator
4. Transmission
5. Electronic control unit
6. Energy converter DC/AC
7. Batteries

11. ábra. A VOLVO parallel-hibrid autóbuszának hajtásrendszere Feliratok: 2 tengelykapcsoló, 4 hajtómű, 5 elektronikus vezérlő, 6 DC-AC energiaátalakító

A BAE autóbusz-gyártó a tengerentúli és egyes brit városokba szállít nagy számban hibrid buszokat, az alábbi főbb adatokkal, 12. ábra:



12. ábra. Emeletes, soros-parallel teljesítményátvitelű hibrid buszok, szinkron generátorral és szinkronmotoros hajtással

- energiatároló, itt is 200kW teljesítménnyel, Li-Ion nanofoszfát akku, 340 kg tömeggel,
- áramirányító inverter: 320kW állandó teljesítmény 75 kg tömeggel,
- vontatómotor: 120 kW állandó és 175 kW csúcsteljesítménnyel, 650 Nm állandó-, és 900 Nm max nyomatékkal, ezt 4 percen át képes leadni.

Tömege 280 kg, olajhűtésű szinkron motor.

- generátor: 145 kW állandó teljesítménnyel, szinkron gép, 135 kg tömeggel
- DM 185 LE teljesítménnyel, 4.5 liter lökettérfogattal.

Animáció hibrid hajtásról.

Tevékenység: [kapcsolódjon az interneten az alábbi címre és figyelje meg az energiaáramlás irányait az egyes hibrid típusoknál.](#)

<http://www.fueconomy.gov/feg/hybridAnimation/swfs/hybridframe.html>

*Részletek a hibrid hajtású járművek értékeléséről megjelent tanulmányokból*

Tevékenység: tanulmányozza az alábbiakban a hibrid járművek értékelését!

A hibrid személygépkocsik eladott mennyisége lassan növekvő tendenciájú. Kedveltségük az elérhető fogyasztás-csökkenéstől is függ, ez városi forgalomban 30 % feletti is lehet.

A hibridhajtású autóbuszok értékeléséről megjelent tanulmányok szerint a

- gazdaságosságuk, energetikai hatékonyságuk jó, az elért gázolajfogyasztás-csökkenés mértéke 25-30 % közötti,
- az üvegházhatású gázok kibocsátása 35-40%-al csökken a normál dízelbuszokkal összehasonlítva, de mintegy 5 %-al nő a NO<sub>x</sub> gázkibocsátás mértéke,
- a zajszint néhány decibel csökkenést mutat az induláskor, amikor a villamos motor nagy nyomatékhányadot vesz át, és ez a városiak számára kellemes,
- rendszertechnikai tulajdonságok: magasabb színvonalú tervezést, -gyártást, -fenntartást igényelnek,
- soros hibrid rendszer: klasszikus villamos gépekkel, akár egyenáramúakkal is építhető, egyszerűbb, még analóg irányítórendszerrel is készülhet, de nagyobb hely- és tömegigényű, s kisebb energiahatékonyságú a beépített tömegeket tekintve, mint a parallel vagy a vegyes hibrid.
- parallel és vegyes hibrid rendszerek: összetettebbek, gépészetileg is, elektrotechnikailag és informatikai szempontból is. Több egység önmaga is számítógépes-, illetve mikroprocesszoros irányítást igényel, saját diagnosztikai rendszerrel. A jármű hajtásirányításának már számítógép-alapúnak kell lennie, amely az energia-irányítást is elvégzi.

Önellenőrző kérdések

### 1. Állítások egy hibrid rendszerről:

Egy villamos gépe van, amely vagy villamos motorként vagy generátorként üzemel.

A belsőégésű motor mechanikai energiája csak részben alakul villamos energiává a generátorban. Itt csak az akkutelepből folyhat energia a villamos motorba.

Ugyanakkor a belsőégésű motor nyomatékának egy része az erőátviteli lánc elemein át mechanikai energiaként eljut a hajtott kerekekhez. Ez utóbbiakhoz így két úton érkezik hajtó nyomaték.

Válassza ki a *helyes* válaszokat! A leírtak az alábbira jellemzőek:

- soros hibrid rendszerű teljesítmény-átvitel
- **párhuzamos hibrid**
- vegyes hibrid
- egyik sem

### 2. másik állítás egy hibrid rendszerről:

Klasszikus villamos gépekkel is építhető, egyszerűbb, még analóg irányítórendszerrel is készülhet, de nagyobb hely- és tömegigényű, s kisebb energiahatékonyságú a beépített tömegeket tekintve, mint a többi hibrid.

Válassza ki a *helyes* választ, melyikre illik a fenti állítás?

- **soros hibrid rendszerű teljesítmény-átvitel,**
- párhuzamos hibrid
- vegyes hibrid
- egyik sem

### 3. Jelölje meg azokat a szempontokat, amelyekről függ a hibrid rendszer hatékonysága:

- **a jármű országúton töltött úthosszától, ha a hatékonyságot az egy évben elért üzemanyag fogyasztás csökkenésében mérjük, hasonló kategóriájú nem-hibrid összehasonlításával,**
- **az országúti-városi úthosszak arányától,**
- **a városi közlekedés átlagsebességétől,**
- **a menetellenállásoktól,**
- **az emelkedők-lejtők arányától a összes km-futásban,**
- **a vezetői stílustól,**
- **a városi kényszerű megállások átlagos távolságától.**

#### 4.3. lecke: A lecke címe **A villamos hajtású jármű rendszerirányítása**

Cél

az alábbiak megismerése:

- hibrid gépjármű irányítási rendszere,
- hibrid autó fékerő-tartományának elvi megosztása a villamos motor féknyomatékával,
- a járműirányítás megvalósulása hibrid járműben

Követelmények

*A hallgató legyen képes lerajzolni:*

- hibrid gépjármű irányítási rendszerét, belsőégésű motor munkamezejét az azonos fogyasztású vonalakkal, és az állandó teljesítményt jelentő hiperbolákkal,
- hibrid autó fékerő-tartományának elvi megosztását a villamos motor féknyomatékával,

*Saját szavaival ismertetni*

- a hibrid gépjármű irányítási rendszerét,
- a belsőégésű motor munkamezejét az azonos fogyasztású vonalakkal és teljesítmény-hiperbolákkal,
- a hibrid autó fékerő-tartományának elvi megosztását a villamos motor féknyomatékával,
- a járműirányítás megvalósulását hibrid járműben,
- a menetstabilizálást a hajtásszabályozásba beavatkozással, emelkedőn-lejtőn indulás automatikus segítségét, kerékcsúszási sebesség, szlip szabályozását csúszós úton.

Kulcsfogalmak: belsőégésű motor munkamezeje, hibrid gépjármű irányítási rendszere

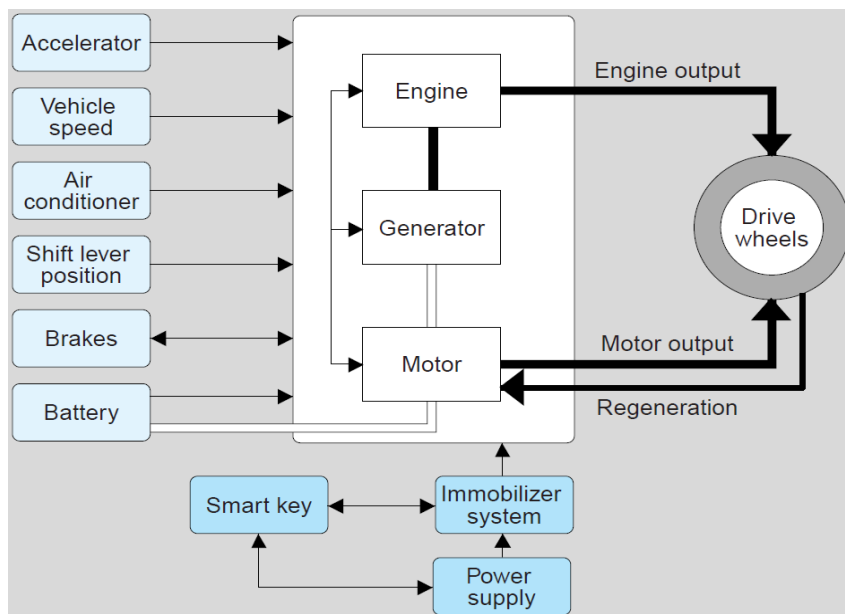
Időszükséglet

A tananyag elsajátításához *körülbelül 90 perc*re lesz szüksége

## 1. Tananyag1. A villamos hajtású jármű rendszerirányítása

Rajzolja le és jegyezze meg a hibrid gépjármű irányítási rendszerének összevont vázlatát.

Az alábbi, 1. ábrán egy vegyes, soros-parallel hibrid gépjármű energiafolyama, a rendszerirányítás által figyelembe vett jelek, valamint egyes alrendszerek kapcsolatai láthatók.



1 ábra: Vegyes hibrid gépjármű irányítási rendszerének összevont vázlata. Feliratok: baloldalt: gázpedál, járműsebesség, klíma, sebváltó fokozata, fékpedál, akkutelep, lent: intelligens indítókulcs, lopásgátló rendszer, kis akku, jobbra: benzinmotor kihajtás, hajtott kerekek, villamos motor kihajtás, visszatápláló féküzem

## 2. A belsőégésű motor munkapontjai és azok megválasztása soros vagy vegyes hibrid hajtásnál

Az irányítás egyik területe a belsőégésű motorra vonatkozik. Tekintve, hogy a jármű kerekeinek hajtása a soros vagy vegyes hibrid megoldásokban mechanikailag is csak közvetetten kapcsolódik a belsőégésű motorhoz, a teljesítmény másik részét a villamos motor szolgáltatja, lehetőség nyílik a



belsőégésű motor - járműsebesség kapcsolat szabadabb megválasztására, miként az például a dízelmotoros, de villamos hajtású vasúti járművek esetében az 1920-as évek óta használatos.

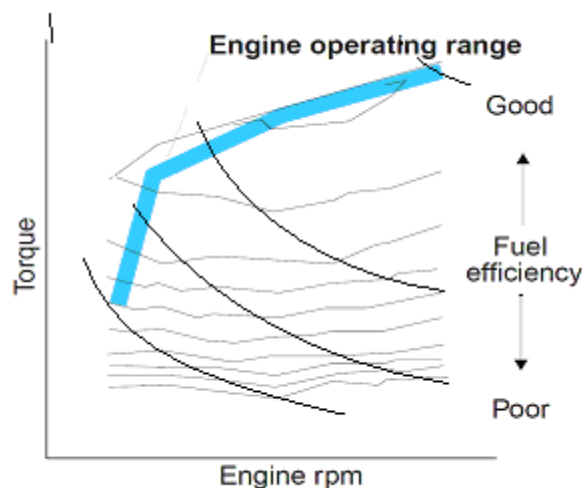
**Tevékenység:** Tanulmányozza, rajzolja le és jegyezze meg a belsőégésű motor munkamezejét az azonos fogyasztású vonalakkal és az állandó teljesítményt jelentő hiperbolákkal.

Azaz, a belsőégésű motor munkapontjai szabadon megválaszthatók egy adott teljesítményszinten. Ez utóbbiak egy-egy

$$P_i = M \omega = \text{const}$$

részteljesítményi hiperbolát képeznek, amelyeken  $P_i = \text{const}$ , illetve a nyomaték a teljesítményből számítható:  $M = P / \omega$ . E görbék pontjain a teljesítmény számértéke azonos, de a belsőégésű motor minden jellemzője, ideértve a mechanikai igénybevételek mértékét is, változó.

Ezek mérlegelése ad lehetőséget arra, hogy az egyes, növekvő részteljesítményi munkapontokat a nyomaték-fordulatszám mezőben hova tervezzék, amint e pontok sorozatát jelző vastag kék vonal egy valós hibrid jármű esetén mindezt mutatja. A berajzolt négy görbéből a legalacsonyabb fekvésű hiperbola a legkisebb részteljesítményt, míg a legmagasabban fekvő pedig jobbra fent a névleges teljesítményt jelzi, 2. ábra.



2. ábra. Belsőégésű motor munkamezeje: az azonos fajlagos fogyasztású görbék közel állandó jellegű és közel párhuzamosan fekvő vonalai, és az egyes részteljesítményeket szemléltető, egy-egy állandó teljesítmény-értéket jelentő hiperbolák. Feliratok: a motor működési tartománya, jobbra: az üzemanyag hatékonysága *jó*, *fent*, és *gyenge*, *lent*.

Természetesen az egyik fő szempont a lehetséges munkapont-helyek eldöntésénél a fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás mérőszáma. További szempontok lehetnek még: tömegeroők-gázerők kiegyensúlyozottsága és a rezgések, az elhasználódás és az élettartam-befolyásoló igénybevételek kapcsolata stb.

**Tevékenység:** Tanulmányozza a járműirányítás megvalósulását hibrid járműben.

**A járműirányítás megvalósulása** hibrid járműben az alábbiakat jelenti:

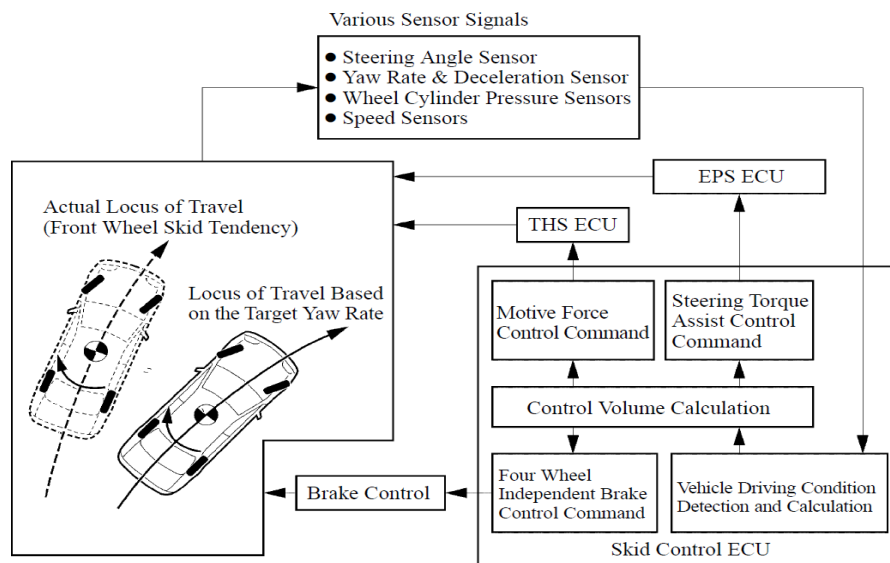
- a járművezetőtől, a gázpedáltól érkező nyomaték-igény az aktuális járműsebességen már teljesítmény-számértéket képvisel, amelyet szabályozott fordulatszámú, és mennyiség-vezérelt befecskendező rendszerrel egy előírt nyomatékot adó belsőégésű motor szolgáltat,
- az irányítás gondoskodik arról, hogy a villamos generátor felvett nyomatéka a belsőégésű motort a kívánt teljesítményszintű, de egyúttal gazdaságos munkaponton segítse tartani, miközben a jármű hajtási teljesítményéhez hozzájáruló, villamos motor által kifejtett nyomatékkal a kerekek felé kihajtó össznyomaték a járművezetői igénynek, pedálhelyzetnek feleljen meg,
- az akkutelep töltöttségi szintjének korlátain belül engedélyezi a villamos motor nyomatékának hozzájárulását a hajtáshoz,
- féküzemben összehangolja a villamos motor generátoros féknyomatékát és a hidraulikus fékberendezés féknyomatékát a fékpedál-helyzethez illeszkedően,
- kezeli a kipörgés-gátlási és a menetstabilizálási feladatokat a villamos motor aktuális nyomaték-alapjelenek megváltoztatásával,
- végül, az épp rendelkezésre álló szabad teljesítményhányadból a generátor útján tölti az akkutelepet, ha annak töltöttségi szintje ezt igényli.

### **3. Különleges hajtási részfeladatok irányítása**

**Tevékenység:** Tanulmányozza a menetstabilizálás megvalósulását hibrid járműben.

#### **3.1. Menetstabilizálás a hajtásszabályozásba beavatkozással**

Egyes, különlegesnek mondható járműhajtási üzemállapotokban, így a kerékcsúszás határánál, a hajtó villamos motor generátoros féknyomatékának szabályozásánál, és korszerű menetstabilizálási rendszereknél az ívmenetben történő nyomatékszabályozásnál az irányításnak mindkét nyomatékforrást, így a villamos motort, és a belsőégésű motort is tudni kell kezelnie. Ehhez az egyes gépek aktuális üzemébe történő hatékony és gyors beavatkozás nélkülözhetetlen, 3. ábra.



3. ábra. A menetstabilizálás elve, a főbb informatikai kapcsolatok a hajtásirányítással kapcsolódóan az egyes számítási és irányítási egységek között. A THS ECU végzi a hibrid hajtás szinkron motorjának aktuális beavatkozását a stabilizálási folyamatba, a villamos nyomaték megfelelő mértékű és sebességű változtatásával. EPS ECU: menetstabilizálás és kormányzás központi egység.

Feliratok: bal nagy mező: aktuális haladási helyzet (első kerekek bekövetkezett csúszási állapotával), alaphelyzet a függőleges tengely körüli forgáshoz tartozóan. Felső mező, fent: különféle szenzorok jelei (kormánykerék szöghelyzet, függőleges tengely körüli elfordulás és lassulás, keréknyomások, sebesség), jobboldali nagy mező. Balról: mozgató-beavatkozó erő és nyomaték vezérlőjele, kormányzó nyomaték asszisztens vezérlőjele, lent: négy kerék független fék vezérlőjelek, járműhajtás feltételek észlelése és számításai, középen: vezérlőjel értékek számításai, kint balra: fékvezérlés

**Tevékenység: Tanulmányozza az emelkedőn-lejtőn indulás segítését hibrid járműben.**

### 3.2.Emelkedőn-lejtőn indulás automatikus segítése

A kézfék vagy a fék felengedésekor a lejtőn vagy emelkedőn önmagától elinduló jármű hajtott kerekeinek érzékeny forgás-észlelése megindítja a helyben tartás funkciót, és a motornyomaték gyors, de kerék-szöghelyzetre szabályozott megnövelésével a kerék elfordulását megakadályozza, lejtőn és emelkedőn egyaránt.

**Tevékenység: Tanulmányozza a kipörgésgátlók és a szlip szabályozásának működési elvét hibrid járműben.**

### 3.3.Sebesség és csúszási sebesség, másként a szlip szabályozása csúszós úton

A kipörgésgátló **ASR** (Anti-Slip Regulation, Antriebsschlupfregelung) vagy más néven **TCS** vagy **TRC** (Traction Control System) egy olyan érzékelő és irányító rendszer, amely gyorsítás alatt az **ABS** szenzoroktól kapott adatok alapján méri és összehasonlítja a kerekek forgási sebességét. Amennyiben érzékeli valamelyik kerék gyors fordulatszám-növekedését (megcsúszás), a rendszer beavatkozik a vezérlésbe, csökkenti a motor teljesítményét és megakadályozza a kipörgést, azaz a kerekek sebességét azonos értékre állítja vissza.

40 km/h alatti sebességnél csökkenti a motor teljesítményét, illetve megfékezi a túl gyorsan forgó kereket.

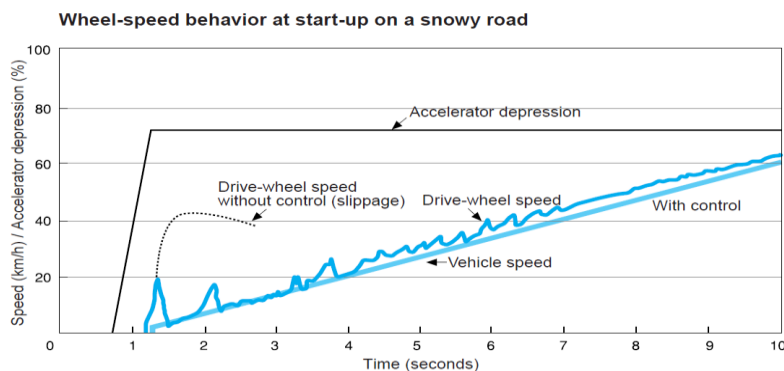
40 km/h felett csak a motorteljesítményt csökkenti, ilyenkor ugyanis a fékezés megcsúszást eredményezhet. Az ASR feltétele az elektronikus gázpedál alkalmazása.

Villamos vagy hibrid hajtású autókban a 40 km/h alatti tartományban a villamos motor által szolgáltatott nyomaték még jelentős arányú, így a villamos motor nyomatékának csökkentése önmagában elegendő a többlet nyomaték megszüntetésére és a megfelelő tapadás visszaállítására.

Tekintettel arra, hogy az állandó mágneses szinkron motorok nyomatékváltoztatási időszükséglete többnyire kisebb, mint 0,001 s, ez sokkal nagyobb nyomaték-csökkentési és nyomaték-növelési sebességet eredményez, mintha a belsőégésű motor nyomatékát csökkentjük vagy növeljük a befecskendezett üzemanyag mennyiségének változtatásával.

Mindezeknek megfelelően a villamos és hibrid hajtású kerekek nyomatékváltoztatása elegendően gyors ütemű lehet ahhoz, hogy csúszós úton, növekvő sebesség mellett is nagyon jó, az eddigieknél jobb tapadáskihasználást lehessen elérni.

Az alábbi, 4. ábra szemlélteti a jármű kedvezőtlen körülmények közötti indítása során végezhető beavatkozásokat a hajtott keréken kifejtett villamos motor nyomaték gyors változtatásával:



4. ábra. Csúszási sebesség-szabályozott gépjárműkerék-hajtás növekvő sebességnél átvitt közel állandó nyomatéka az idő függvényében. Feliratok: keréksebesség-események havas úton indulásnál, gyorsuláselejtés, mint megtűrt felső határérték, hajtott kerék sebesség-kiugrások irányítás nélkül, járműsebesség feregyenesese, hajtott kerék sebesség szlip-szabályozással

A függőleges tengelyen a sebesség km/h, a pedálhelyzet %-os, viszonylagos értékben szerepel.

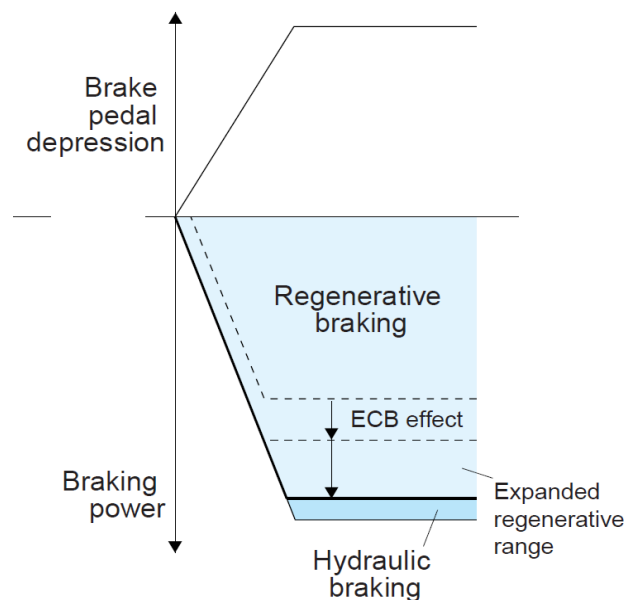
A vizsgát esetben a járművezető a gázpedál lenyomásával 73 %-os nyomaték-kifejtést igényel, ami a csúszós úton nem realizálható. A kék ferde egyenes vonal állandó nyomatékkal elérhető állandó gyorsuláshoz tartozó, egyenes alakú sebesség-idő függvényt mutat, amely szlip-szabályozással jól közelítően megvalósítható.

Az anélküli hajtás alatti megcsúszások némelyike nagy és hirtelen növekvő megperdülési sebességhez vezet, amelyek ugyan gyorsan csökkenhetnek, de fennállásuk alatt az átvitt vonóerő értéke alacsony.

### 3.4. A villamos generátoros fék és a hidraulikus fék üzemi tartományai

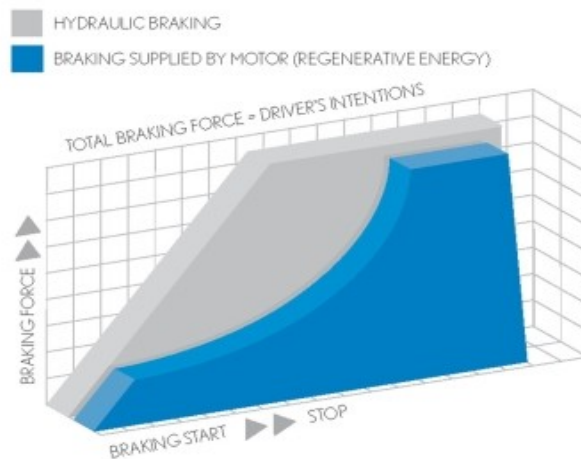
**Tevékenység:** tanulmányozza, rajzolja le és jegyezze meg a hibrid autó fékerő-tartományának elvi megosztását a villamos motor féknyomatékával.

A villamos generátoros fék és a hidraulikus fék tartományainak kapcsolata az alábbi, 5. ábrán követhető. Megfigyelhető, hogy a pedálút mértékével arányos az össz-fékerő, amelyen belül a generátoros fék nyomatéka több mint 90 %.



5. ábra. Hibrid személygépkocsi féküzemének és fékteljesítmény-tartományának elvi megosztása a hidraulikus fék és a szinkron gép generátoros féknyomaték-lehetőségei között, a sebesség függvényében. ECB effect: elektronikus fékerőszabályozás hatóköre, tartománya. Az ábrán a sebesség-tartomány csak a teljes nyomatékú villamos féket jelöli, és a 6. ábra jobb végén lévő tartománynak felel meg. Feliratok: fékpedál-lenyomás, fékteljesítmény, visszatápláló fékezés, hidraulikus fékezés, kiterjesztett visszatápláló fékezés

## ECB - ELECTRONICALLY CONTROLLED BRAKE SYSTEM



6. ábra. Személyautóban a villamos generátoros fék teljesítménye a motoros üzem értékének kb. 110 %-án korlátozott, emiatt nagy sebességen csak kisebb lehet a féknyomatéka. A sebesség csökkenésével (az ábrán jobbra haladva) a kifejthető villamos féknyomaték hiperbolikusan nő, és eléri tervezési értékét. Ez utóbbi általában kisebb, mint a súrlódó féké. Feliratok: kék mezők: villamos motorral megvalósított visszatápláló fékezés, összes fékerő a vezetői szándék szerint, lent: fékezés-kezdettől megállásig

A fékerő vezérlése a fékpedál után különválik a villamos generátoros féknyomaték beállítására, amely az áramvektor-szabályozású szinkronmotorban a már ismert módon történik, valamint a hidraulikus fék adott mértékű hozzájárulásának megvalósítására. Ez utóbbi feladathoz a hidraulikus fék elektronikus vezérlésének megvalósítására volt szükség.

Mindezeket a feladatokat csak jól átgondolt, megtervezett és programozott számítógép-irányítású rendszerrel lehetséges teljesíteni, amely a vezetői igényeket a jármű aktuális üzemállapota szerinti valamennyi jellemző kiértékelése alapján valósítja meg.

### Önellenőrző kérdések

1. Válassza ki a helyes válaszokat!

A járműirányítás megvalósulása vegyes hibrid járműben az alábbiakat jelenti:

- a) Féküzemben összehangolja a villamos és a hidraulikus fékberendezéseket,
- b) a generátor útján állandóan tölti az akkutelepet, ha annak töltöttségi szintje ezt megengedi,

- c) a hidraulikus rendszer hibája esetén kezeli a menetstabilizálási feladatokat,
- d) a járművezetőtől érkező nyomaték-igényt a szabályozott fordulatszámú és a mennyiség-vezérelt befecskendező rendszerrel adott nyomatékot adó belsőégésű motor szolgáltatja,
- e) a kerekek felé kihajtó össznyomaték a járművezetői igénynek, pedálhelyzetnek felel meg, ha az gazdaságosan tartható,
- f) a belsőégésű motort a kívánt teljesítményszintű, de egyúttal gazdaságos munkaponton tartja,
- g) az akkutelep töltöttségi szintjének korlátain belül engedélyezi a villamos motor nyomatékának hozzájárulását a hajtáshoz.

2. Válassza ki a *helyes* válaszokat:

a) *A fékerő vezérlése a fékpedál után különválik a villamos generátoros féknyomaték beállítására, amely az áramvektor-szabályozású szinkronmotorban a már ismert módon történik, valamint a hidraulikus fék adott mértékű hozzájárulásának megvalósítására. Ez utóbbi feladathoz a hidraulikus fék elektronikus vezérlésének megvalósítására volt szükség.*

b) *A fékerő vezérlésével történik a villamos generátoros féknyomaték beállítása, amely az áramvektor-szabályozású szinkronmotorban a már ismert módon történik, valamint a hidraulikus fékezés megvalósítása. Ez utóbbi feladathoz a hidraulikus fék elektronikus vezérlésének megvalósítására volt szükség.*

c) *A fékerő vezérlésével történik a villamos motoros féknyomaték beállítása, amely az áramvektor-szabályozású szinkronmotorban a már ismert módon történik, valamint a hidraulikus fék adott mértékű hozzájárulásának megvalósítására. Ez utóbbi feladathoz a hidraulikus fék megvalósítására volt szükség.*

d) *A fékerő vezérlése a fékpedál után különválik a villamos generátoros féknyomaték beállítására, amely az áramvektor-szabályozású szinkronmotorban a már ismert módon történik, valamint a hidraulikus fék adott mértékű hozzájárulásának megvalósítására. Ez utóbbi feladathoz hidraulikus fékvezérlésre van szükség.*

3. Válassza ki a *helyes* választ:

a) *Személyautóban a villamos generátoros fék teljesítménye a motoros üzem értékének kb. 110 %-án korlátozott, emiatt nagy sebességen csak kisebb lehet a féknyomatéka. A sebesség csökkenésével a kifejthető villamos féknyomaték hiperbolikusan nő, és eléri tervezési értékét. Ez utóbbi általában kisebb, mint a súrlódó féké.*

b) *Személyautóban a villamos generátoros fék teljesítménye a motoros üzem értékének kb. 120 %-án korlátozott, emiatt bármely sebességen csak kisebb lehet a féknyomatéka. A sebesség csökkenésével a kifejthető villamos féknyomaték lineárisan nő, és eléri tervezési értékét. Ez utóbbi általában nagyobb, mint a súrlódó féké.*

c) Személyautóban a villamos generátoros fék teljesítménye a motoros üzem értékének kb. 110 %-án korlátozott, emiatt nagy sebességen csak kisebb lehet a féknyomatéka. A sebesség csökkenésével a kifejthető villamos féknyomaték hiperbolikusan nő, és meghaladja tervezési értékét. Ez utóbbi általában nagyobb, mint a súrlódó féké.

d) Személyautóban a villamos generátoros fék teljesítménye a motoros üzem értékének kb. 90 %-án korlátozott, emiatt nagy sebességen nagyobb lehet a féknyomatéka. A sebesség csökkenésével a kifejthető villamos féknyomaték hiperbolikusan nő, és eléri tervezési értékét. Ez utóbbi általában kisebb, mint a súrlódó féké.

4.4 lecke: A lecke címe **Hibrid gépjárművek számítógép irányítású rendszereinek modellezése. MATLAB szimulációs vizsgálati lehetőségek megtekintése egy soros-párhuzamos rendszerű hibrid hajtású személygépkocsira**



## Cél

A MATLAB szimulációs vizsgálati lehetőségek **megtekintése és részbeni megismerése** egy korszerű, teljesen számítógép-irányítású soros-párhuzamos rendszerű hibrid hajtású személygépkocsira, a szimulációs program fő egységeinek, alrendszereinek működés közbeni megtekintésével és egyes futtatási eredmények elemző értékelésével egy felhasználóbarátnak mondható modell futtatásával. A Matlab Help-ben található: [power\\_HEV\\_powertrain.mdl](#).

A modellt a Matlab számára egy kanadai kutatócsoport fejlesztette ki a Toyota-Prius rendszerének és adatainak felhasználásával.

### Fontos megjegyzés:

A lecke célkitűzései a Matlab-ban található modell futtatása nélkül is, azaz Matlab-programcsomag használata nélkül is többnyire teljesíthetőek, az alábbi bemutató-ismertető leírás és ábrái alapján.

## Követelmények

A hallgató szerezzen tájékozottságot egy korszerű hibrid hajtású gépjármű modelljének felépítéséről, alrendszereiről:

- *villamos hajtás-,*
  - *járműdinamikai-,*
  - *energiairányítási vagy -menedzsment alrendszerek,*
- ismerje meg:*
- *a teljesítményosztó bolygómű rendeltetését,*
  - *a hibrid jelleg lehetséges állapotait.*

Kulcsfogalmak: energairányítási rendszer vagy energia-menedzsment, BMS vagy akku-menedzsment

## Időszükséglet

A tananyag megismeréséhez körülbelül 100 perc szükséges

## 1. Tananyag

### 1. A járműhajtás modellje

A következőkben röviden, áttekintő, illetve tájékoztató jelleggel bemutatjuk a program felépítését, és később a modell változtatása nélkül, azonnal végezhető szimuláció néhány futtatási eredményét.

A Matlab-programra készült hajtásszimuláció egyes rendszer-ábráinak áttekintése, valamint a futtatási eredmények ábráinak elemzése betekintést ad egy energetikailag hatékony hibrid hajtásrendszer működésébe, amely elképzelése is és realizálása is már csak a mai számítógép-irányítású rendszerekkel lehetséges - ideértve a járműhajtásba integrált állandó-mágneses szinkron gépek motoros és generátoros üzemállapotainak önálló irányítását is. Ez utóbbi, mint már megismertük az előző fejezetekben, csak a számítógépes alapú áramvektor-szabályozással lehetséges.

**Tevékenység:** Tanulmányozza a szinkron motoros járműhajtás- modell felépítését.

A járműhajtás modellje felnyitható az alábbi alrendszerekre:

- villamos hajtás-,
  - járműdinamikai-,
  - energiairányítási vagy energia-menedzsment
- alrendszerekre.

A modellezett jármű villamos hajtás-alrendszerének főbb részei és jellemzői:

- a villamos motor 50 kW teljesítményű, 3 fázisú, 280 V AC feszültségű 8 pólusú állandó-mágneses szinkronmotor, áramvektor-szabályozással, mezőgyengítési lehetőséggel. 6000/p névleges fordulatszámmal,
- a generátor szintén 3 fázisú, 280 V AC feszültségű, 30 kW-os állandó mágneses szinkrongép, 13000/p legnagyobb fordulatszámmal. Indítómotorként is funkcionál, ebben a szokásostól eltérően egyszerűbben és elhasználódás-mentesen, lendkerék-fogaskoszorú nélkül.
- az akkutelep 200 V DC feszültségű, 6,5 Ah kapacitású, mindkét irányban 21 kW teljesítményű Ni-MH típusú,

- ennek töltés-kisütés illesztésére egy „buck-boost” típusú, feszültség csökkentésre-növelésre egyaránt alkalmas DC-DC konverter csatlakozik, amely 500 V DC-re növeli a szinkron gépek háromfázisú inverterei előtti feszültséget.

A járműdinamikai alrendszer modellje az alábbiak szerinti tulajdonságokat tartalmazza:

- egyfokozatú áttétellel csökkenti a sebességet,
- a differenciálmű két egyenlő részre osztja a nyomatékot (ez akkor áll fenn, ha a kerekek jól tapadnak, nem csúsznak)
- a mechanikai rendszerben csak viszkózus jellegű csúszó ellenállások vannak.

A program futtatása számos megfigyelésre ad lehetőséget, amelyek közül a hibrid rendszer belső teljesítmény-arányainak változása kívánhatja a legtöbb elemzést már egy 16 s valós idejű, valós-szerű üzemállapot-sorozat leképezése révén is. Ez idő alatt az elért sebesség a 14. s-nál 73 km/h, és egy fékezési folyamat megkezdésének hatására 61 km/h-ra esik vissza a 16. s végére.

*A gázpedál helyzetének időfüggvénye*, mint valós vezetésnél is, a jármű hajtásirányításának elsődleges irányító jele. A modellben a fékezőnyomaték-igényt ugyanazon pedál negatív előjelű kezelésével veszik figyelembe, míg valós járműben ez egy másik pedál, és csak pozitív jel adható vele.

*Az egyes pedálhelyzetek a hajtás kívánt nyomatékszintjét jelölik meg*, és a teljesítmény számértékéhez a járműsebességgel történő szorzással jutunk. Ennek tudható be, hogy például a még 0 sebességű járművön a 70 %-os pedállenyomás még zérus hajtóteljesítményt jelent, így a gyárilag 12 kW-ban megfogalmazott határ alatti állapotra tekintettel a jármű a benzinmotor használata nélkül, akkutelepről indulhat.

Az 1,4 s időpontban az adott pedálhelyzettel a hajtás teljesítményfelvétele átlépi a 12 kW-ot, ettől kezdve a benzinmotor a generátor révén, illetve mechanikai teljesítmény-átadással is közvetlenül is részt vesz a járműhajtásban.

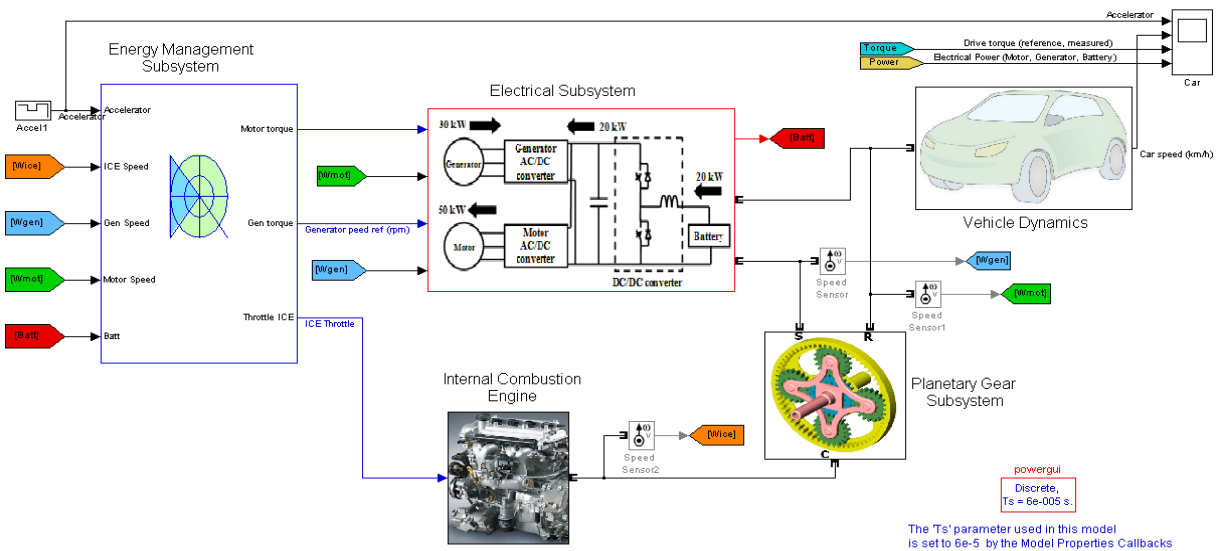
A pedálhelyzethez tartozó kihajtó összes nyomaték-jelből és a sebességből számolt hajtó teljesítmény összetevőinek változása jó elemzési lehetőséget kínál az egyes diagramok jeleinek követésével.

## **2. A járműmodell főbb egységei**

**Tevékenység:** Tanulmányozza a szinkron motoros járműhajtás- modelljének alrendszerait: villamos hajtás-, járműdinamikai-, energi irányítási.

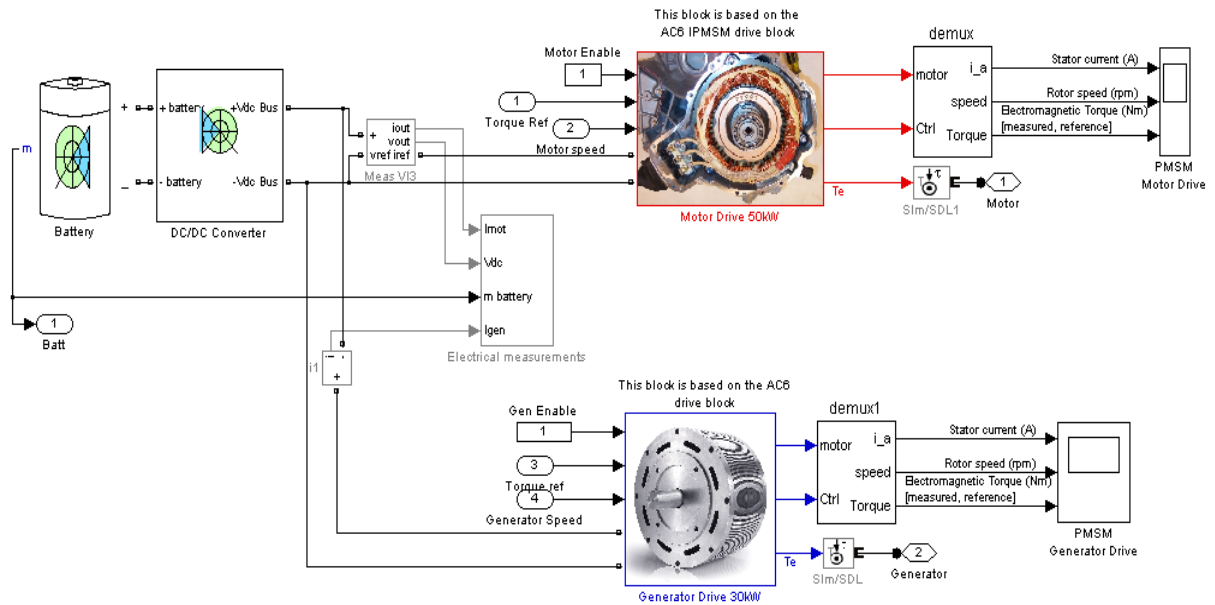
A következőkben áttekintjük a szimulált járműmodell főbb egységeit, majd néhány időfüggvényt, amelyeket a hasonló valós jármű mérése helyett a modellfuttatással kaphatunk. A modellezett soros-parallel hibrid hajtású jármű energetikai szempontból fontos alrendszerei és kapcsolatai láthatók az alábbi, 1. ábrán.

A MATLAB angol nyelvű és általában közismert kifejezéseit, feliratait, amennyiben szükséges volna, a hallgató szótárból fordítsa le, mintha a számítógépen dolgozna.



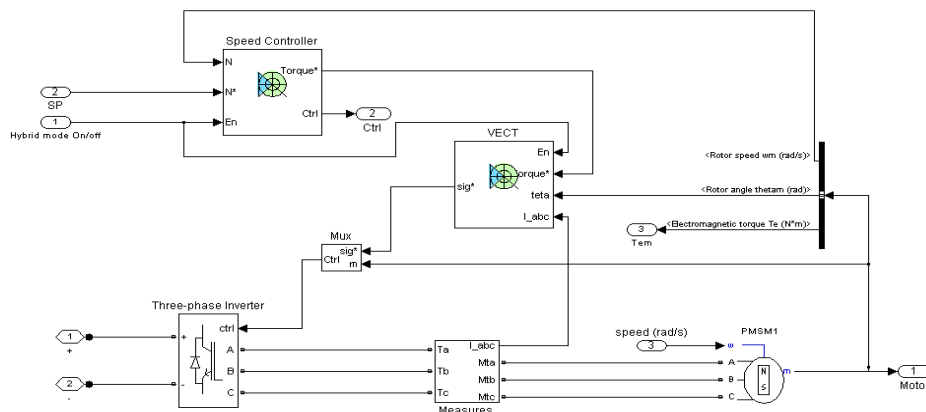
1...ábra. Soros-párhuzamos hibrid rendszerű gépjármű energiaátviteli fő egységei, másként alrendszerei: belsőégésű motor, energiamenedzsmnt, villamos járműhajtás az inverterekkel és az akkuteleppel valamint a feszültségnövelő konverterrel, a jármű dinamikai modellje, és a bolygóműves teljesítményosztó

Az előző ábrán közepen, piros keretben található villamos hajtás alrendszer fő részei láthatók az alábbi, 2. ábrán.



2. ábra. A villamos hajtás alrendszer: balra akkutelep és illesztő DC-DC konvertere, fent a szinkron motor és lent a szinkron generátor az invertereikkel. Feliratok: demux: mérőrendszer, mely a motor jeleit adja

A villamos gépek egyikének, a szinkron generátornak a működtetéséhez szükséges eszközök modelljei alkotják az előbbi ábrának a generátorra vonatkozó alrendszerét, 3. ábra. A szinkron motoré hasonló, itt nem ismételjük meg.



3. ábra. A szinkron generátor az inverterével, a sebesség-, és az áramvektorszabályozóval, és a Matlab sajátosságként használatos villamosgép-modell és mérőegység-modell összetartozó párral, utóbbi alul középen és jobbra

Tevékenység: Tanulmányozza és jegyezze meg a teljesítményszórtó bolygómű rendeltetését.

Az ún. teljesítményosztó bolygómű rendeltetése egyes üzemállapotokban a belsőégésű motor teljesítményének elosztása a generátor-, illetve a mechanikai kihajtás felé. A blokk kinyitása után megfigyelhető a bolygóműnek a belső súrlódó nyomatékokat is számító részletes modellje, amely más modellbe is beépíthető lenne. Ismertetésétől eltekintünk.

**Tevékenység: Tanulmányozza és jegyezze meg a járműdinamikai alrendszer rendeltetését.**

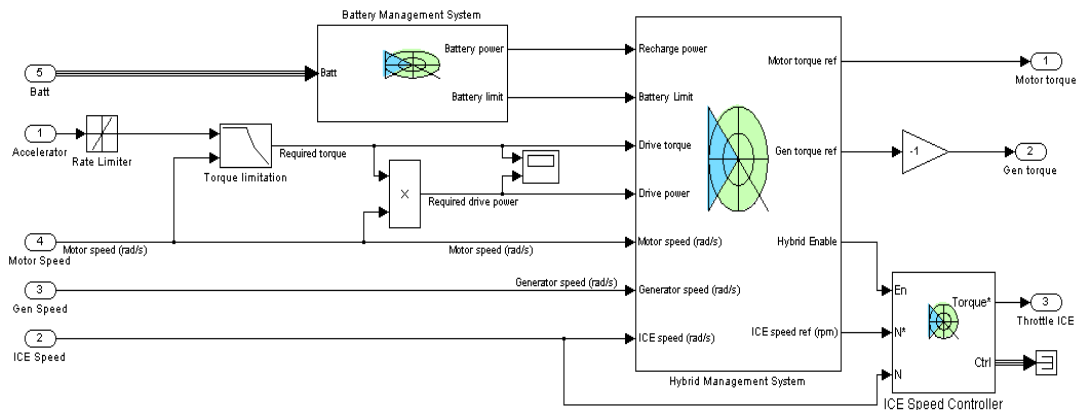
A járműdinamikai alrendszerben a jármű hajtása kerekeivel történik, s az ott megjelenő nyomatékoknak vonó- és fékezőerőre átszámítása a modell feladata – figyelembe véve az áttételeket, a tehetetlenségi nyomatékokat, súrlódásokat és a jármű tömegét. A részmodell tartalmazza a járműnek hosszirányú mozgásokhoz elegendő leírását tömegponttal történő helyettesítéssel, továbbá a gumiabroncsokon fellépőerők és csúszások számításai modelljét saját tömegadataikkal, de ezek bemutatásától eltekintünk (a modellben megtekinthetőek).

**Tevékenység: Tanulmányozza és jegyezze meg a jármű energetikai irányításának célját és felépítését.**

A jármű energetikai irányítása, energia-menedzsment alrendszere a bonyolult teljesítménykapcsolatok és az egyes rendszerek korlátai miatt már nem végezhető manuálisan, hanem az egy jól végiggondolt irányítási stratégia szerint, számítógépes támogatással történik.

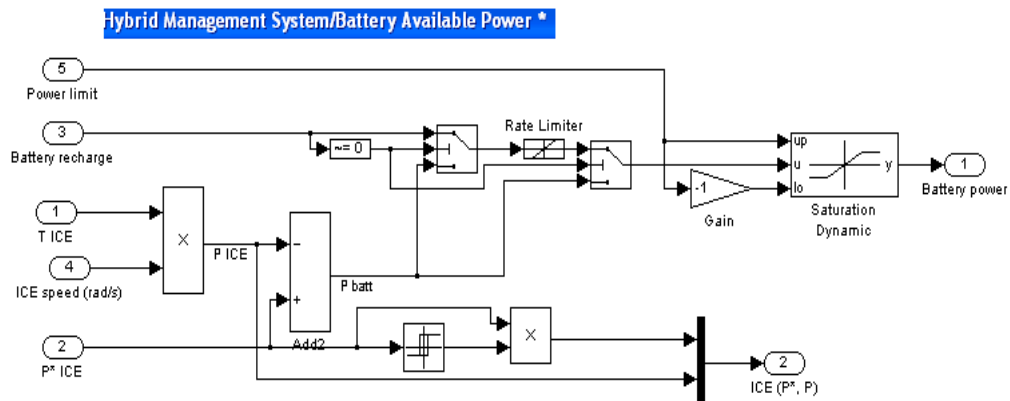
Az alábbi ábrák az egyes fő szempontok szerinti egységek kapcsolatát mutatják:

- **akkutelep- vagy battery-menedzsment**, mely az akku töltési-kisütési viszonyainak megfelelő beállításáért felel, 4. ábra. A BMS (Battery Management System), másként akkumenedzsment a Ni-MH akkuk miatt nem kell foglalkoznia a Li-ion akkutelepnél már szükséges cellafeszültség-kiegyenlítésekkel és a cellánkénti hőmérséklet-ellenőrzésekkel, hanem az akkutelep töltöttségi állapotát, SOC (State of Charge) ellenőrzi és 40 és 80 % között tartja, megelőzendő a túlzott kisütést és helyet hagy egy fékezés energiahányadának,
- **az ún. hibrid menedzsment**, amely a kívánt és az aktuális teljesítményeket értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás, 5.ábra
- **a belsőégésű motor szabályozója**, amely a várt teljesítmény előállításáról gondoskodik, 7.ábra.





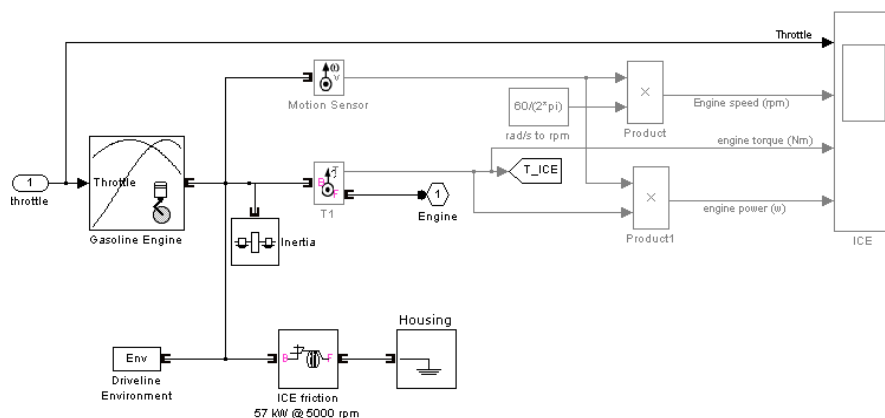
Speciális részterületek még az akkutelep által fogadható teljesítmény értékének megállapítása, 6. ábra, amikor is a battery-menedzsment adatai alapján korlátozza féküzemi állapotban a az akkuba visszatölthető energia, közelebbről a pillanatnyi töltőteliesség nagyságát, és a belsőégésű motor irányítása, 7. ábra, amely a pillanatnyilag igényelt teljesítménynek és az akkutelepből fogyaszthatónak a különbségét vezérli a benzinmotor szabályozójához.



6. ábra. Az akkutelep által fogadható teljesítmény értékének meghatározása a belsőégésű motor nyomatékából és szögsebességéből, a töltő teljesítményből és az akkutelep adataiból, a korlátozásokat figyelembe véve. Felirat: saturation dynamic: dinamikus átíráható határértékű korlátozás, a korlát alatt lineáris jelleggel

Tevékenység: tanulmányozza a belsőégésű motor irányítási modelljének felépítését.

A belsőégésű motor irányítási modellje a 7. ábrán tekinthető meg. A modell a fojtószelep állásához rendeli a motor nyomatékát egy függvénygörbe-sereg alapján, és a nyomaték meghatározásához így elkerülhetővé válik a befecskendezett motor részletes égésfolyamatának modellezése



7. ábra. A belsőégésű motor irányítási modellje. Felirat: throttle: fojtószelep, ICE friction: belsőégésű motor súrlódási paraméterei 57 kW és 5000/p-nél



### 3. Futtatási eredmények

Tevékenység: tanulmányozza a Matlab-modell futtatási eredményeinek görbéit a leírások és a részletes ábraalírások alapján.

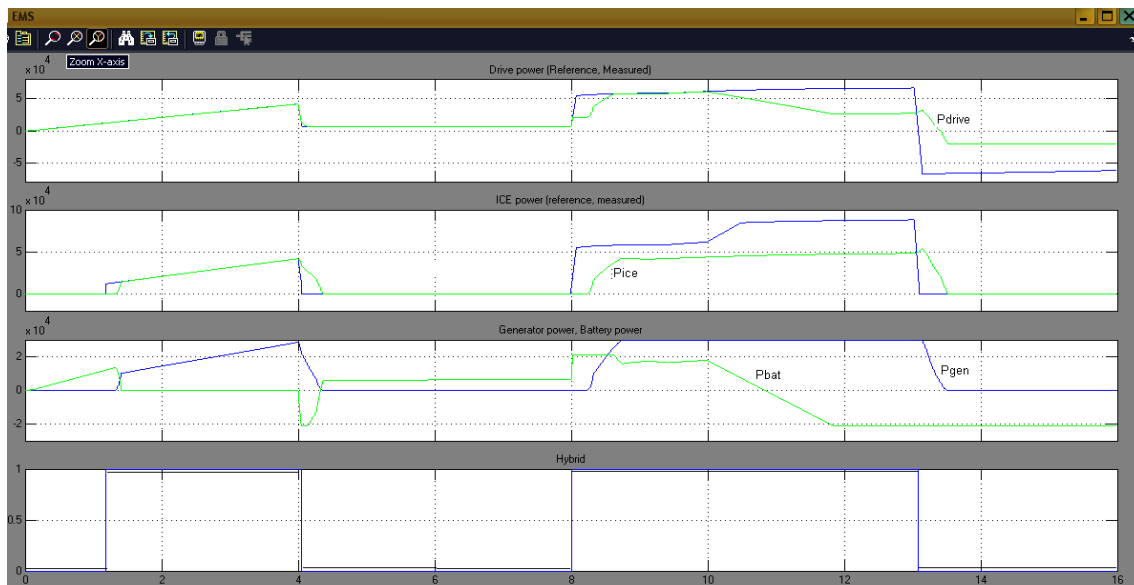
Azon hallgatók, akiknél a Matlab program rendelkezésre áll, természetesen az itt bemutatottaktól eltérő, tetszés szerinti beállításokkal is futtathatják azt, és eredményeik számos esetben nagyon tanulságosak lehetnek.

A modell ismertetésénél leírtak szerinti esetre, 0-16 s közti gyorsítási időtartamra kirajzoltattuk a gázpedálhelyzetet, a járműsebességet, a villamos teljesítmények:  $P_{\text{generátor}}$ ,  $P_{\text{motor}}$  és  $P_{\text{batterya}}$  tekintetét meg a 8. ábrán. Az ábrára hivatkozások az egyes részletek leírásánál találhatóak meg.



8. ábra. A gázpedálhelyzet(accelerator), a járműsebesség, a hajtás kimenő nyomatékának alapjele és mért értéke, valamint a villamos teljesítmények ( $P_{\text{generátor}}$ ,  $P_{\text{motor}}$  és  $P_{\text{batterya}}$ ) időfüggvény-ábrái az első 16 s alatt. A gázpedálhelyzetben a 4., 8. és 13. s időpontokban van változás. A hibrid jelleg 0 értékénél, 4.-8. s között a villamos hajtás kb. 30 Nm nyomatékot ad az akkumulátorról a kis értékű gázpedál-helyzetnek megfelelően, mellyel a járműsebesség kissé nő. A belsőégésű motor leáll, 10. ábra, és a generátor nyomatéka is zérus, lásd 9. ábra.

A hajtás teljesítményábráit összegezve láthatjuk a 9. ábrán.

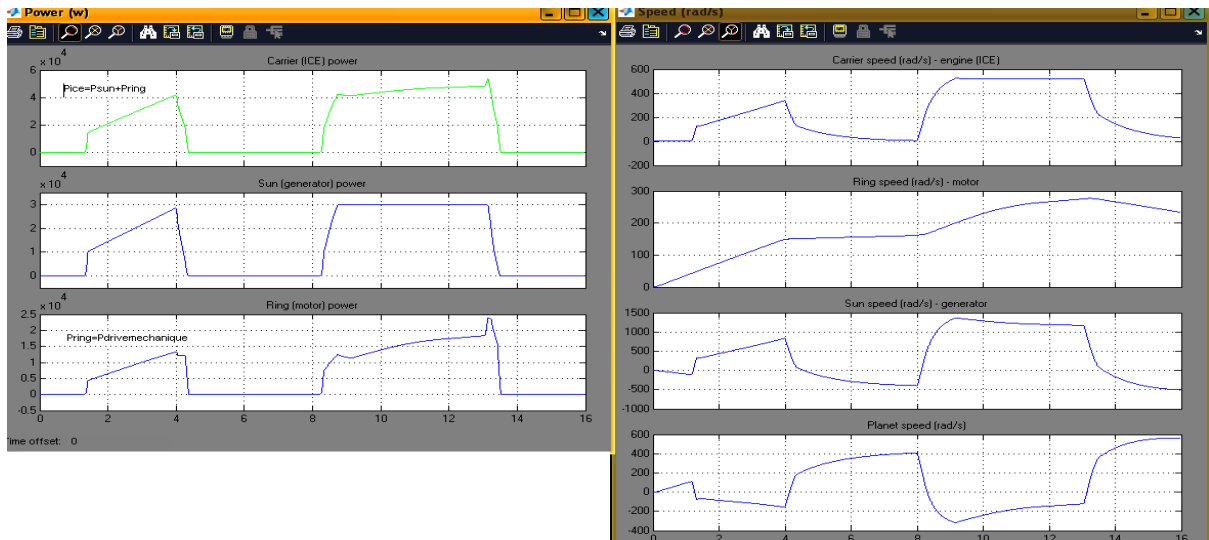


9. ábra. A hajtás teljesítményábrái. A kihajtás jelei: a mért-, és a ICE-nek küldött alapjel, a generátor és az akkutelep teljesítmény értékei. Alapjelek kék, mért jelek zöld színűek. Legalul a hibrid jelleg mértéke.

Tekintve, hogy a gázpedál a 4. és 8. s között visszavett állapotú, a hibrid-jelleg is szünetel, értéke 0. Ezt szemlélteti a következő, 10. ábrán is láthatóan, hogy a bolygómű valamennyi teljesítmény-értéke zérus ebben az időszakaszban, kis késlekedéssel, függetlenül attól, hogy a bolygómű kerekei forognak.

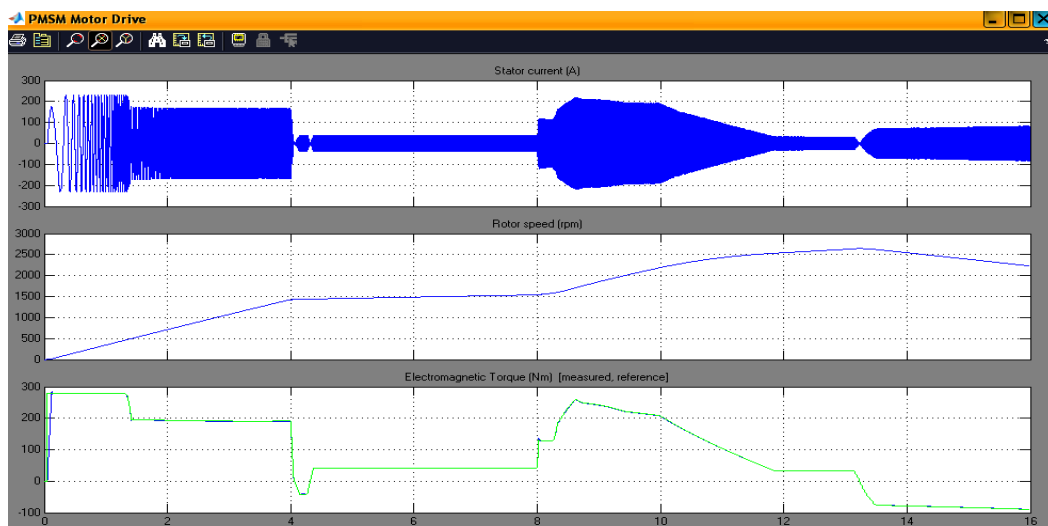
A 8. s-től kezdődően a gázpedál teljesen lenyomott helyzetű. A hibrid jelleg ismét 0-ról 1-re ugrik, a bolygómű teljesítmény-ábráján a generátor vonala felveszi a 30 kW-ot, a benzinmotoré 40-ről 53 kW-ra kezd emelkedni, és az alsó ábrán a bolygóműn a benzinmotortól áthaladó mechanikai teljesítmény 12,5-ről 24 kW-ra emelkedik a 13,5. s időpontban.

A teljesítményosztó bolygóműn áthaladó teljesítmények és azok aktuális sebesség-értékei, 10. ábra



10. ábra. A teljesítményosztó bolygóműn áthaladó teljesítmények nagysága a baloldali ábrákon, és sebességértékei, jobboldalt. Fentről lefelé: bolygóműhöz érkező belsőégésű motor teljesítmény, sebességét a jobbfelső ábra mutatja; középső ábra: generátorteljesítmény a napkeréken, sebesség értékeit mutatja a jobboldali 3. ábra; alsó ábra: szinkron motor teljesítmény a bolygómű gyűrűjén, sebessége a jobb 2. ábrán; bolygókerék sebessége a jobb 4. ábrán

A szinkronmotor jellemzői a 11.ábrán láthatóak.



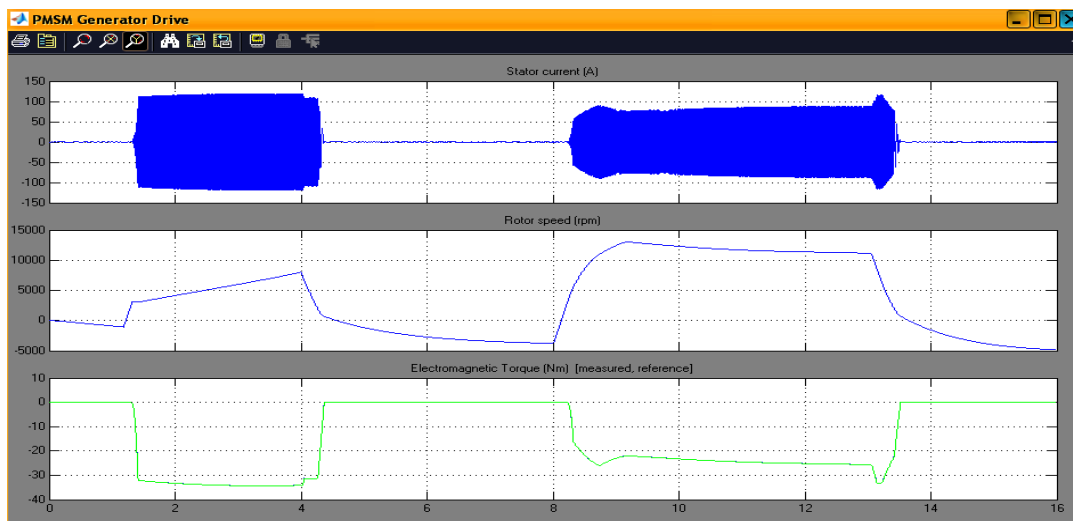
11. ábra. A szinkronmotor áram-, sebesség- és nyomaték időfüggvényei a járműhajtás előzőek szerinti teljesítményszükségletei és időléptéke alapján. Jól látható a felső görbével összehasonlítva, hogy a nyomaték értékei (lent) áram-arányosak. A 13,2 s-tól a szinkron motor generátoros üzemben fékezi a járművet

A szinkronmotor kezdettől indítja a járművet. Nyomatéka közel 300 Nm a kihajtás irányában, majd az 1,4 s utáni beavatkozásoknak köszönhetően, a benzinmotor részvételének megkezdésekor a nyomatékot 200 Nm-re veszik vissza. Ezzel a már hibrid-hajtás állapottal gyorsul az autó a 4. s-ig, a gázpedál visszavételéig.

Ekkor a szinkronmotor átmenetileg rövid idejű féküzemi állapotba is kerül, majd kb. 30 Nm-rel és kb. 5 kW körüli, kissé növekvő teljesítménnyel önállóan hajtja a járművet a 8. s-ig, 40 km/h sebességgel. A hibrid jelleg ezalatt szünetel, a benzinmotor nem hajt és nem is tölt, az akkutelep feltehetően feltöltött és nem fogadóképes – az 5 kW a hajtásba innen áramlik most.

A 8. s-től a szinkronmotor ismét hajt, egyre csökkenő nyomatékkal és részvétellel. Amikor a vezető a 13. s-nál a fékpedállal lassítani kezd, -90 Nm féknyomatékkal generátoros visszatápláló üzemet vesz fel.

A szinkron generátor jellemzőinek időfüggvényei, 12. ábra:



12. ábra. A szinkron generátor áram-, sebesség- és nyomaték időfüggvényei az energiairányítás szerint. A generátoros nyomaték negatív előjelű

A generátor a hibrid-jelleg 1 értékeinél helyeződik üzembe, és 35 Nm-nél kisebb nyomatékot elvéve a benzinmotortól, energiát szállít, amelyet részben a szinkron motor fogyaszt el, részben az akkutelep vesz fel. Fordulatszama a benzinmotorral együtt, de annak kétszeresével nagy tartományban változik,

üzemben 3500 és 13000/p értékek között. A bolygóműves kapcsolata miatt némely járműhajtási állapotban ellenkező irányban forgatott is lehet, így a 12. ábrán a jármű lassításakor a -5000/p sebességet is eléri, de nincsen üzemben. A generátor sarkain jelentkező váltakozófeszültség az inverter lezárt IGBT áramirányító moduljain nem jut át, a generátor üresjárásban marad. Ekkor a benzinmotor már áll az energiairányítás intézkedéseinek nyomán, pedig a jármű sebessége 60 km/h feletti.

#### Önellenőrző kérdések

##### 1. Válassza ki a helyes választ!

a) *A járműdinamikai alrendszerben az ott megjelenő nyomatékoknak vonóerőre átszámítása a modell feladata – figyelmen kívül hagyva az áttételeket, a tehetetlenségi nyomatékokat, súrlódásokat és a jármű tömegét.*

b) *A járműdinamikai alrendszerben az ott megjelenő nyomatékoknak vonó- és fékezőerőre átszámítása a modell feladata – figyelembe véve az áttételeket.*

c) *A járműdinamikai alrendszerben az ott megjelenő nyomatékoknak vonó- és fékezőerőre átszámítása a modell feladata – figyelembe véve az áttételeket, a tehetetlenségi nyomatékokat, súrlódásokat és a jármű tömegét.*

d) *A járműdinamikai alrendszerben az ott megjelenő nyomatékoknak fékezőerőre átszámítása a modell feladata – figyelembe véve a jármű tömegét.*

##### 2. Válassza ki a helyes választ!

a) *az ú.n. hibrid menedzsment, amely a kívánt és az aktuális teljesítményeket értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról történjék-e a hajtás,*

b) *az ú.n. hibrid menedzsment, amely az aktuális teljesítményeket értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás,*

c) *az ú.n. hibrid menedzsment, amely a kívánt teljesítményeket értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás,*

d) *az ú.n. hibrid menedzsment, amely a kívánt és az aktuális teljesítményeket értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás,*

### 3. Válassza ki a helyes választ!

a) az akkutelep által leadandó teljesítmény értékének megállapítása: a battery-menedzsment adatai alapján korlátozza féküzemi állapotban a az akkuba visszatölthető energia, közelebbről a pillanatnyi töltőteliesség nagyságát,

b) az akkutelep által fogadható teljesítmény értékének megállapítása: a battery-menedzsment adatai alapján korlátozza féküzemi állapotban a az akkuba visszatölthető energia, közelebbről a pillanatnyi töltőteliesség nagyságát,

c) az akkutelep által fogadható teljesítmény értékének megállapítása: a battery-menedzsment adatai alapján korlátozza motoros állapotban a az akkuba visszatölthető energia, közelebbről a pillanatnyi töltőteliesség nagyságát,

d) az akkutelep által fogadható teljesítmény értékének megállapítása: a battery-menedzsment és a vezető igényei alapján korlátozza féküzemi állapotban a az akkuba visszatölthető energia, közelebbről a pillanatnyi töltőteliesség nagyságát,

### 4. Válassza ki a helyes választ!

a) a belsőégésű motor irányítása a pillanatnyilag igényelt teljesítménynek és az akkutelepből fogyaszthatónak a különbségét vezérli a benzinmotor szabályozójához.

b) a belsőégésű motor irányítása a pillanatnyilag igényelt teljesítménynek és az akkutelepből fogyaszthatónak az összegét vezérli a benzinmotor szabályozójához.

c) a belsőégésű motor irányítása a pillanatnyilag igényelt teljesítménynek és az akkutelepből fogyaszthatónak átlagát vezérli a benzinmotor szabályozójához.

d) a belsőégésű motor irányítása a pillanatnyilag igényelt teljesítménynek és az akkutelepből fogyaszthatónak a négyzetes középértékét vezérli a benzinmotor szabályozójához.

### Modulzáró feladatok

#### 1 Válassza ki a helyes válaszokat!

a) A kondenzátorból kivett, vagy kivehető töltésmennyiség:  $E = C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)/2$ ,

b) A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)$ ,

c) A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = 2C(U_{\max}^2 - U_{\min}^2)$

d) A kondenzátorból kivett, vagy kivehető energia:  $E = C(U_{\max} - U_{\min})/2$ ,

2 Válassza ki a helyes válaszokat!

A lendkerék *forgástengelye legyen függőleges*, és házának nincs további tengelyek körüli elfordulási lehetősége, azaz akadályoztatáskor az  $M_{pr}$  fel fog lépni. Az  $\omega_2$ -nek jelölt szögsebesség a jármű valamelyik irány szerinti mozgásából származik, illetve vehető/veendő figyelembe.

$$M_{pr} = \Theta \omega_1 \omega_2,$$

ahol

- a)  $\Theta$  a lendkerék tehetetlenségi nyomatéka,
- b)  $\omega_1$  a lendkerék szögsebessége,
- c)  $\omega_2$  az autó hossz tengelye körüli jobbra-balra dőlés szögsebessége

3 Jelölje meg a helyes válaszokat!

Azok a szempontok, amelyekről függ a hibrid hajtásrendszer hatékonysága, az alábbiak:

- a) a jármű országúton töltött úthosszától, ha a hatékonyságot az egy évben elért üzemanyag fogyasztás csökkenésében mérjük, hasonló kategóriájú nem-hibrid összehasonlításával,
- b) az országúti-városi úthosszak arányától,
- c) a városi közlekedés átlagsebességétől,
- d) a menetellenállásoktól,
- e) az emelkedők-lejtők arányától a összes km-futásban,
- f) a vezetői stílustól,
- g) a városi kényszerű megállások átlagos távolságától.

4. Válassza ki a helyes válaszokat!

A járműirányítás megvalósulása vegyes hibrid járműben az alábbiakat jelenti:

- a) Féküzemben összehangolja a villamos és a hidraulikus fékberendezéseket,
- b) a generátor útján állandóan tölti az akkutelepet, ha annak töltöttségi szintje ezt megengedi,
- c) a hidraulikus rendszer hibája esetén kezeli a menetstabilizálási feladatokat,
- d) a járművezetőtől érkező nyomaték-igényt a szabályozott fordulatszámú és a mennyiség-vezérelt befecskendező rendszerrel adott nyomatékot adó belsőégésű motor szolgáltatja,

- e) a kerekek felé kihajtó össznyomaték a járművezetői igénynek, pedálhelyzetnek feleljen meg, ha az gazdaságosan tartható,
- f) a belsőégésű motort a kívánt teljesítményszintű, de egyúttal gazdaságos munkaponton tartja,
- g) az akkutelep töltöttségi szintjének korlátain belül engedélyezi a villamos motor nyomatékának hozzájárulását a hajtáshoz.

5. Jelölje meg mondatrészekként a helyes válaszokat!

Vegyes hibrid járműben:

- a) A belsőégésű motor munkapontjai szabadon megválaszthatók egy adott teljesítményszinten.
- b) Ez utóbbiak egy–egy

$$P_i = M \omega^2 = \text{const}$$

részteljesítményi hiperbolát képeznek,

- c) amelyeken  $P_i = \text{const}$ ,
- d) illetve a nyomaték a teljesítményből számítható:  $M = P / \omega$ .
- e) E görbék pontjain a teljesítmény számértéke nem azonos,
- f) és a belsőégésű motor minden jellemzője, ideértve a mechanikai igénybevételek mértékét is, változó.
- g) Ezek együttes mérlegelése ad lehetőséget arra, hogy az egyes, növekvő részteljesítményi munkapontokat a nyomaték-fordulatszám mezőben hova tervezzék.

6. Jelölje meg mondatrészekként a helyes válaszokat!

Vegyes hibrid hajtású jármű fékrendszerében:

- a) A fékerő vezérlése a fékpedál után különválik a villamos féknyomaték motoros üzemi beállítására,
- b) amely az áramvektor-szabályozású szinkronmotorban a már ismert módon történik,
- c) valamint a hidraulikus féknek a járművezető által adott mértékű hozzájárulásának megvalósítására.
- d) Ez utóbbi feladathoz a hidraulikus fék elektronikus vezérlésének megvalósítására volt szükség.