

# Hibrid gépjárművek számítógép irányítású rendszereinek modellezése. MATLAB szimulációs vizsgálati lehetőségek áttekintése egy soros-párhuzamos rendszerű hibrid hajtású személygépkocsira

## A lecke célja

a MATLAB szimulációs vizsgálati lehetőségek áttekintése egy soros-párhuzamos rendszerű hibrid hajtású személygépkocsira, a szimulációs program fő egységeinek, alrendszereinek működése, egyes futtatási eredmények elemző értékelése.

## Követelmények

A hallgató legyen képes lerajzolni

- a szinkron generátor modell-ábráját az inverterével, a sebesség-, és az áramvektorszabályozóval, mint blokkokból épített hatásvázlatot.

ismertetni az alábbiakat:

A járműhajtás modelljének alrendszereit, így a

- villamos hajtás-,
- járműdinamikai-,
- energiairányítási vagy -menedzsment alrendszereket,
- a teljesítményosztó bolygómű rendeltetését,
- a hibrid jelleg lehetséges állapotait,
- a BMS akkumenedzsment feladatait,
- a szinkron motor és a generátor üzemének a hibrid hajtásrendszerben jelentkező különlegességeit.

## Időszükséglet

A tananyag elsajátításához *körülbelül 120 perc*re lesz szüksége

**Kulcsfogalmak:** energiairányítási vagy –menedzsment, BMS akkumenedzsment

## Tevékenység:

Rajzolja le és jegyezze meg a szinkron generátor modell-ábráját az inverterével, a sebesség-, és az áramvektorszabályozóval.

Tanulmányozza és jegyezze meg:

- A járműhajtás modelljének alrendszereit, részletesebben a
- villamos hajtás-,
- járműdinamikai-,
- energiairányítási vagy -menedzsment alrendszereket,
- a teljesítményosztó bolygómű rendeltetését,
- a hibrid jelleg lehetséges állapotait,
- a BMS akkumenedzsment feladatait,
- a szinkron motor és a generátor üzemének a hibrid hajtásrendszerben jelentkező különleges eseteit.

## 1. A járműhajtás modellje

Bemutatunk egy MATLAB-ban elkészített hibridhajtás szimulációs program-rendszert, amely egy létező hibrid személygépkocsi energetikai és hajtástechnikai áttekintő vizsgálatára és számos megfigyelésre alkalmas. A következőkben röviden bemutatjuk a program felépítését és a szimuláció néhány futtatási eredményét.

A járműhajtás modellje felnyitható az alábbi alrendszerekre:

- villamos hajtás-,
- járműdinamikai-,
- energiairányítási vagy -menedzsment alrendszer.

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-szabályozású inverterrel, mezőgyengítési lehetőséggel. 6000/p névleges fordulatszámmal,
- a generátor szintén 3 fázisú, 280 V AC feszültségű, 30 kW –os szinkrongép, 13000/p (!) legnagyobb fordulatszámmal. Indítómotorként is funkcionál, a szokásostól eltérően egyszerűbben és elhasználódás-mentesen.
- az akkutelep 200 V DC feszültségű, 6,5 Ah kapacitású, mindkét irányban 21 kW teljesítményű Ni-MH típusú,
- ennek töltés-kisütés illesztésére egy „boost” típusú, feszültségnövelésre is alkalmas DC-DC konverter csatlakozik, amely 500 V DC-re növeli a szinkron gépek inverterei előtti feszültséget.

A járműdinamikai alrendszer modellje az alábbiak szerinti:

- egyfokozatú áttétellel csökkenti a sebességet,
- a differenciálmű két egyenlő részre osztja a nyomatékot (akkor áll fenn, ha a kerekek jól tapadnak, nem csúsznak - azaz, a modell itt nem kezeli a lehetséges csúszásokat)
- a mechanikai rendszerben csak viszkózus jellegű csúszások vannak.

Az energiairányítás vagy -menedzsment alrendszer teljesítmény-alapjeleket állapít meg a villamos motor és generátor, továbbá a belsőégésű motor számára. Ezeket a lábpedál-helyzet és a mért járműsebesség alapján számítja, az alábbiak figyelembevételével:

- a BMS (Battery System Management) akkumenedzsment az akkutelep töltöttségi állapotát, SOC (State of Charge) 40 és 80 % között tartja, megelőzendő a túlzott kisütést és helyet hagy egy fékezés energiahányadának,
- az ú.n. hibrid menedzsment rendszer állítja be hibrid jelleg mértékét, a hajtó villamos motor teljesítmény-alapjelét, megosztva az igényelt hajtó teljesítményt az akkutelepből elérhető és a generátor által adható között. Ez utóbbi a generátor sebessége, mely a belsőégésű motorral kapcsolatos, és nyomatéka szorzatával kapható.

A program futtatása számos megfigyelésre ad lehetőséget, amelyek közül a hibrid rendszer belső teljesítmény-arányainak változása kívánhatja a legtöbb elemzést már egy 16 s valószerű, valós-szerű üzemállapot-sorozat leutánczása révén is. Ezalatt az elért sebesség a 14. s-nál 73 km/h, és 61 km/h-ra esik vissza egy fékezési folyamat megkezdésének hatására 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 másik pedál, és csak pozitív jel adható vele.

Az egyes pedálhelyzetek a hajtás 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 ebben a futtatásban a hajtás teljesítményfelvétele átlépi a 12 kW-ot, ettől kezdve a benzinmotor a generátor révén, illetve mechanikai teljesítmény-átadással közvetlenül is részt vesz a hajtásban.

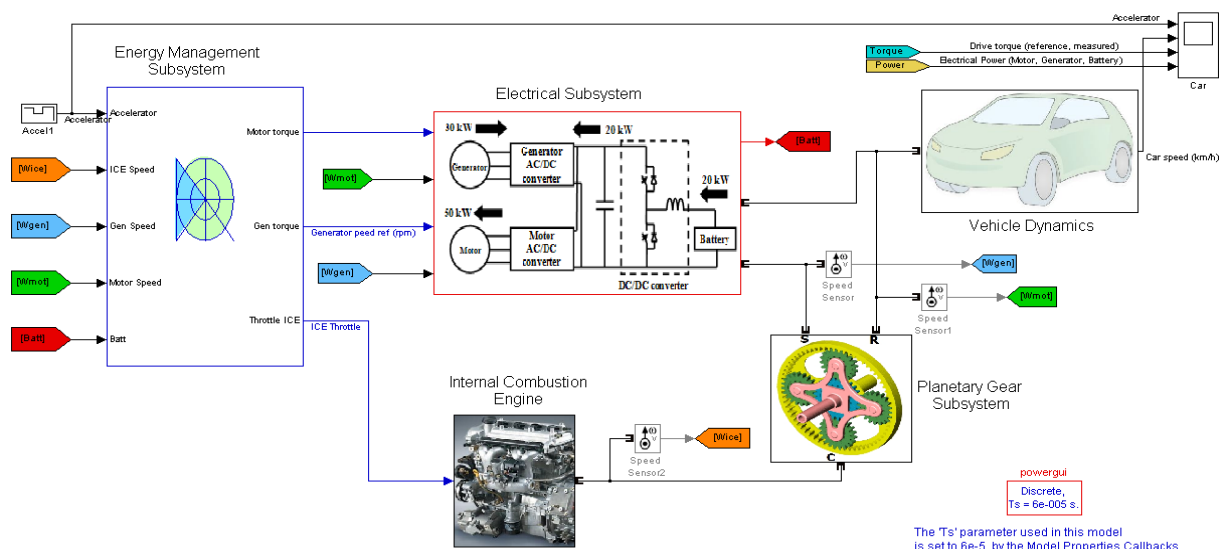
A pedálhelyzet nyomatékjeléből és a sebességből számolt hajtó teljesítmény összetevőinek változása jó elemzési lehetőséget kínál az egyes diagramok jeleinek követésével.

A Matlab-programra készült hajtásszimuláció egyes rendszer-ábráinak áttekintése, valamint a futtatási eredmények elemzése betekintést ad egy korszerű, és energetikailag hatékony hibrid hajtásrendszer működésébe, amely elképzelése és realizálása csak a mai számítógép irányítású rendszerekkel lehetséges- ideértve a járműhajtásba integrált állandó-mágneses szinkron gépek motoros és generátoros üzemiállapotainak irányítását is.

Ez utóbbi, mint már megismertük az előző fejezetekben, csak a számítógépes vagy mikroprocesszoros alapú áramvektor-szabályozással lehetséges, különösen akkor, ha a szinkron gépek nagy fordulatszámú tartományaiban a mezőgyengítésre is szükség van.

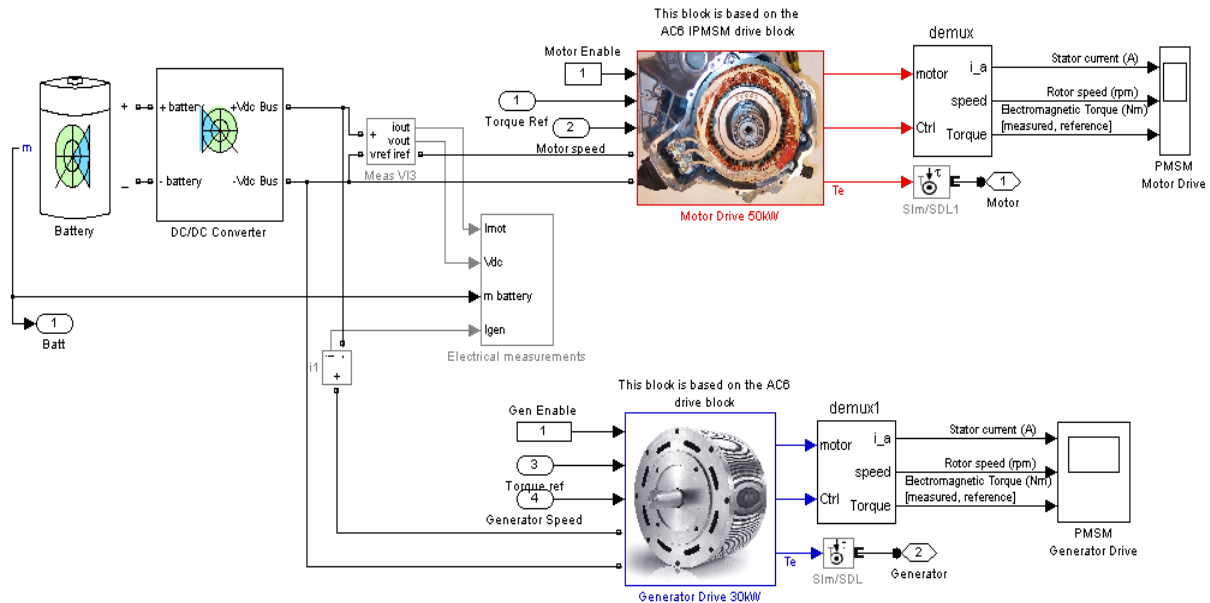
## 2. A járműmodell főbb egységei

A következőkben áttekintjük a szimulált járműmodell főbb egységeit, és néhány időfüggvényt, amelyeket a 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.



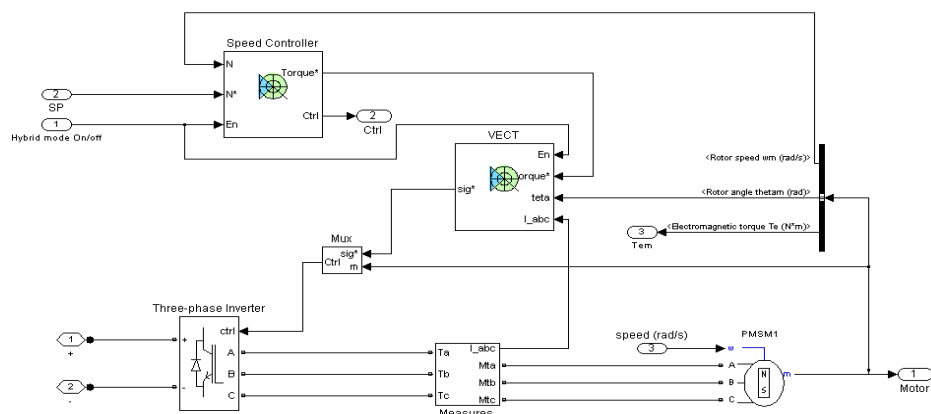
1...ábra. Soros-párhuzamos hibrid rendszerű gépjármű energiaátviteli alrendszerei: belsőégésű motor, energiairányítás, villamos járműhajtás az inverterekkel és az akkuteleppel, feszültségnövelő konverterrel, a jármű mechanikai modellje, bolygóműves teljesítményosztó

Az előző ábrán közepén, keretezetten található villamos hajtás alrendszer fő részei láthatók az alábbi, 2. ábrán.



2 ábra. A villamos hajtás alrendszer: balra akkutelep és illesztő DC-DC konvertere, a szinkron motor és -generátor az inverterekkel

A villamos gépek egyikének, a szinkron generátornak a működtetéséhez szükséges eszközök modelljei alkotják az előbbi ábra 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, alul közepén és jobbra

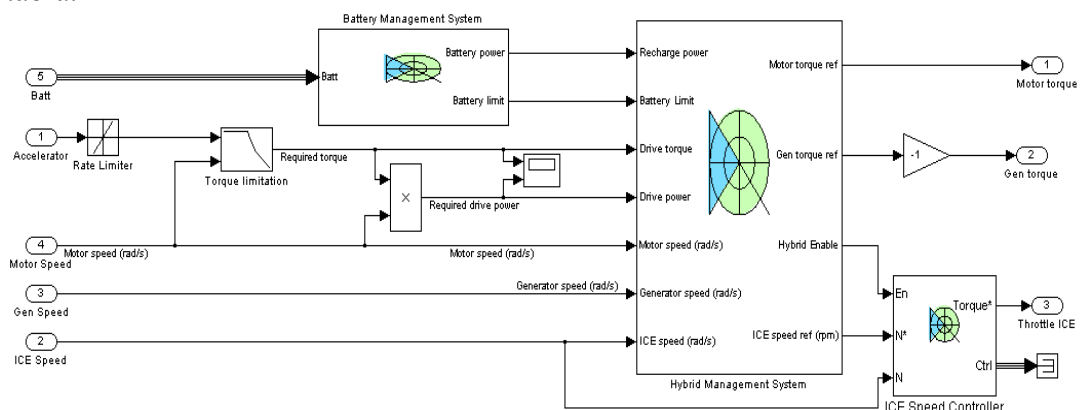
A teljesítményosztó bolygómű rendeltetése egyes üzemállapotokban a belsőégésű motor teljesítményének elosztása a generátor-, illetve a mechanikai kihajtás felé. A program modellezi, de a bemutatásától eltekintünk.

A jármű hajtása kerekeivel történik, s az ott megjelenő nyomatékok vonó- és fékezőerőre átszámítása a modell feladata – figyelembe véve az áttételeket, a tehetetlenségi nyomatékokat, súrlódásokat és a jármű tömegét. A részmodell bemutatásától eltekintünk.

A jármű energetikai irányítása a bonyolult teljesítmény-kapcsolatok miatt már nem végezhető manuálisan, hanem egy jól végiggondolt irányítási stratégia szerint, számítógépes támogatással történik.

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

- akkutelep és a battery-menedzsment, mely az akku töltési-kisütési viszonyainak megfelelő beállításáért felel, 4. ábra
- 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, 5. ábra
- a belsőégésű motor szabályozója, amely a várt teljesítmény előállításáról gondoskodik, 7. ábra.



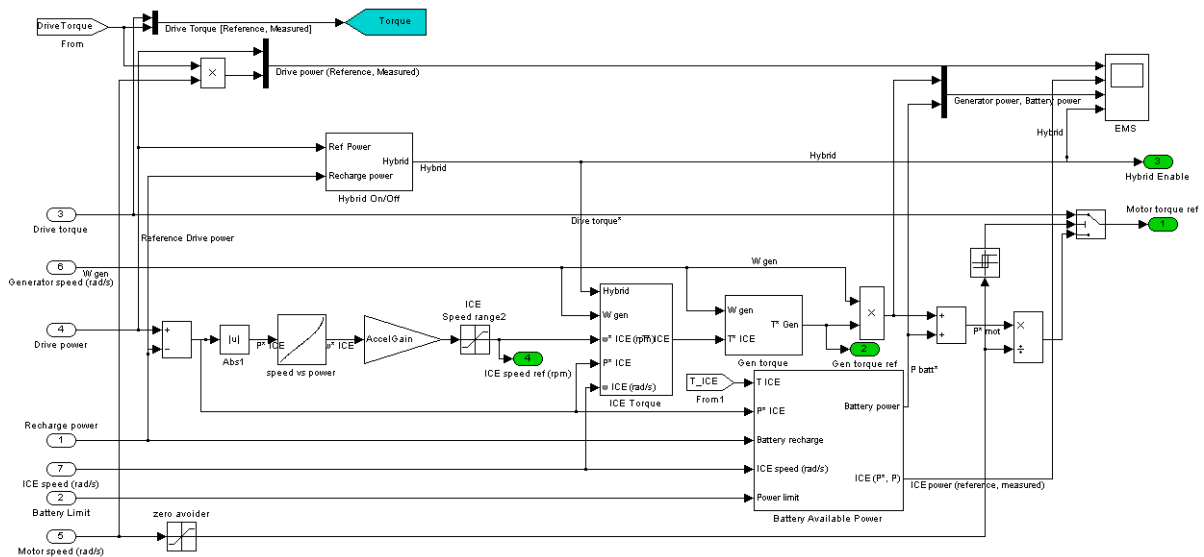
4. ábra. Az energiairányítás modellje: BMS battery menedzsment, hibrid járműrendszer menedzsmentje, belsőégésű motor szabályozója

Az ú.n. hibrid-menedzsment, a hibrid-jellegű üzem bekapcsolásához szükséges állapotok kiértékelése, jelrendszere látható az alábbi, .5. ábrán.

A lábpedál helyzetének és a járműsebességnek ismeretében, az aktuális teljesítményt meghatározva és a határokkal összehasonlítva, értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás. Ekkor változtatja meg a a hibrid-jelleg számértékét zérusról 1-re és viszont, amint az a 9. ábra alsó időfüggvényeként látható.

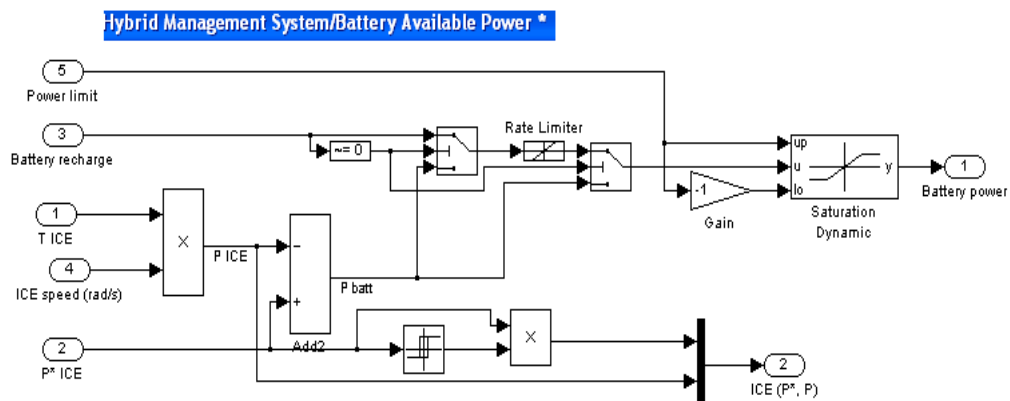
A 0 és 1 közti értékek nem realizálhatók, a bolygómű adottságai veszteségmentesen e két állapotot teszik lehetővé.

Figyelembe veszi az akkutelep töltöttségi állapotát is, és dönt az energiaforrások arányáról.



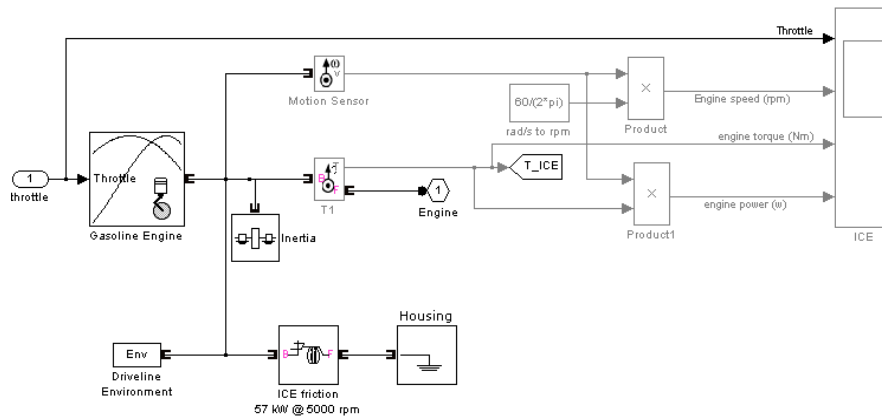
5. ábra. A hibrid-menedzsment rendszer által végzendő feladatok, a 4. ábrán a jobboldalt látható HMS tömb kinyitásával. Középen látható az „ICE Torque” blokk, amely a belsőégésű motor szükséges, létrehozandó nyomatékát számítja a teljesítmény-igényből és a szögsebességéből. Tőle jobbra a „Gen. Torque” blokk számítja a generátor aktuális, beállítandó nyomatékát. Az ezalatt lévő blokk számítja az akkutelep által fogadható teljesítmény nagyságát.

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 töltőteljesítmény nagyságát, és a belsőégésű motor irányítása, 7. ábra, amely a pillanatnyilag igényelt teljesítménynek és az akkutelepből fogyaszthatóknak 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

A belsőégésű motor irányítási modellje a 7. ábrán tekinthető meg.



7. ábra. A belsőégésű motor irányítási modellje a fojtószelep állásához rendeli a motor nyomatékát egy függvénygörbe alapján, és így eltekint a befecskendezett motor részletes modellezésétől

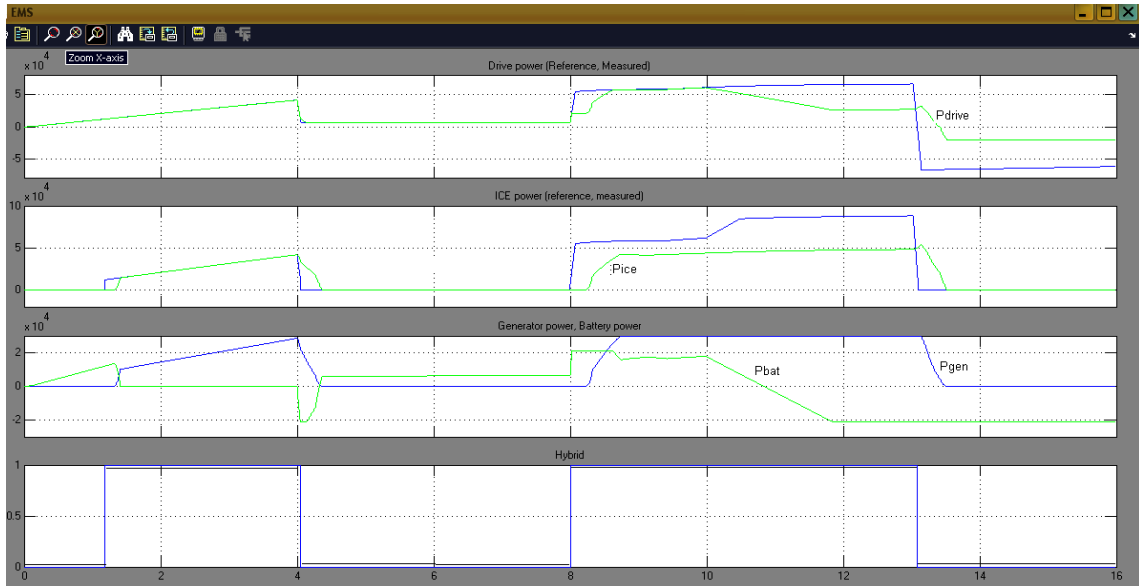
### 3. Futtatási eredmények

A modell ismertetésénél leírtak szerinti esetre a gázpedálhelyzet, a járműsebesség, a villamos teljesítmények:  $P_{\text{generátor}}$ ,  $P_{\text{motor}}$  és  $P_{\text{battery}}$  tekinthetők meg a 8. ábrán. Az ábrára hivatkozások az egyes részletek leírásánál találhatóak meg.



8. ábra. A gázpedálhelyzet, a járműsebesség, a hajtás kimenőnyomatékának alapjele és mért értéke, valamint a villamos teljesítmények –  $P_{\text{generátor}}$ ,  $P_{\text{motor}}$  és  $P_{\text{battery}}$ - időfüggvény ábrái az első 16 s alatt

A hajtás teljesítményábráit összegezve láthatjuk a 9. ábrán.

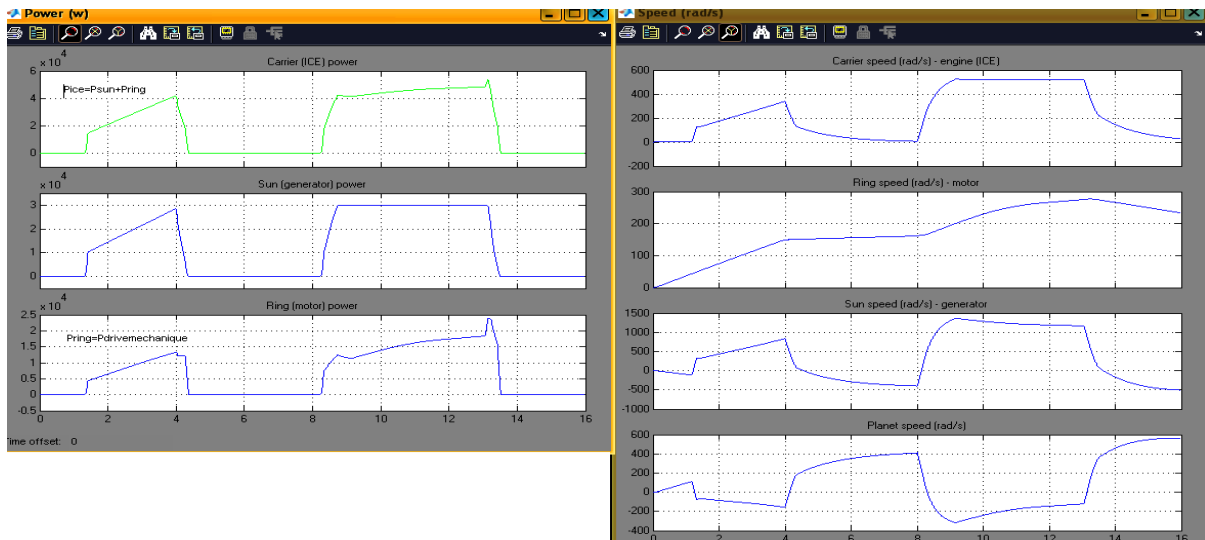


9. ábra. A hajtás teljesítményábrái: kihajtás alapjel- és mért-, a belsőégésű motor ICE alapjel-, kék, és mért-, zöld, a generátor és az akkutelep teljesítményértékei, legalul a hibrid jelleg mértéke.

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.

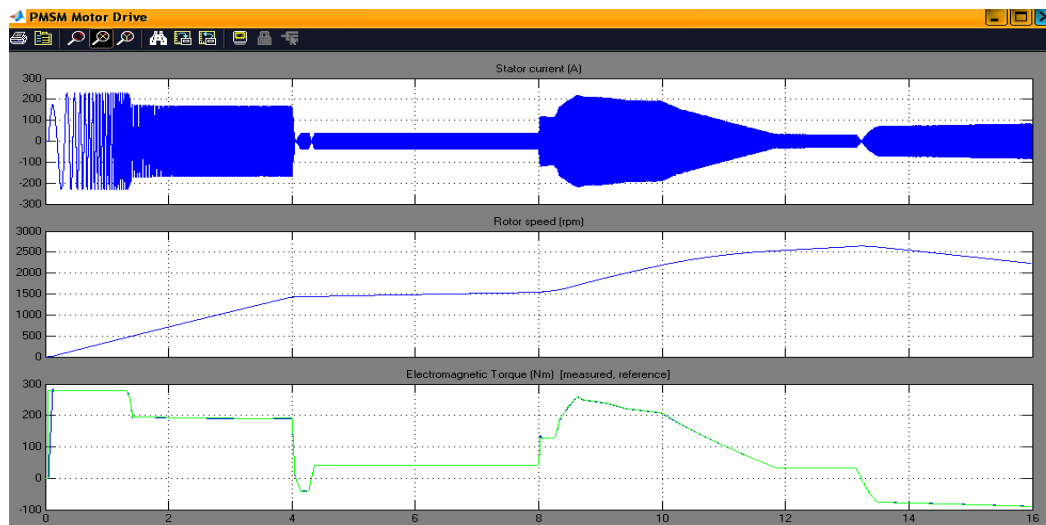
A teljesítményosztó bolygóműn áthaladó teljesítmények és azok aktuális sebesség-értékei, 10. ábra



10. ábra. A teljesítményosztó bolygóműn áthaladó teljesítmények nagysága, baloldalt, és sebességértékei, jobboldalt. Fentről lefelé belsőégésű motor; generátor a napkeréken, ennek sebessége a jobboldali, fentről a 3. 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.



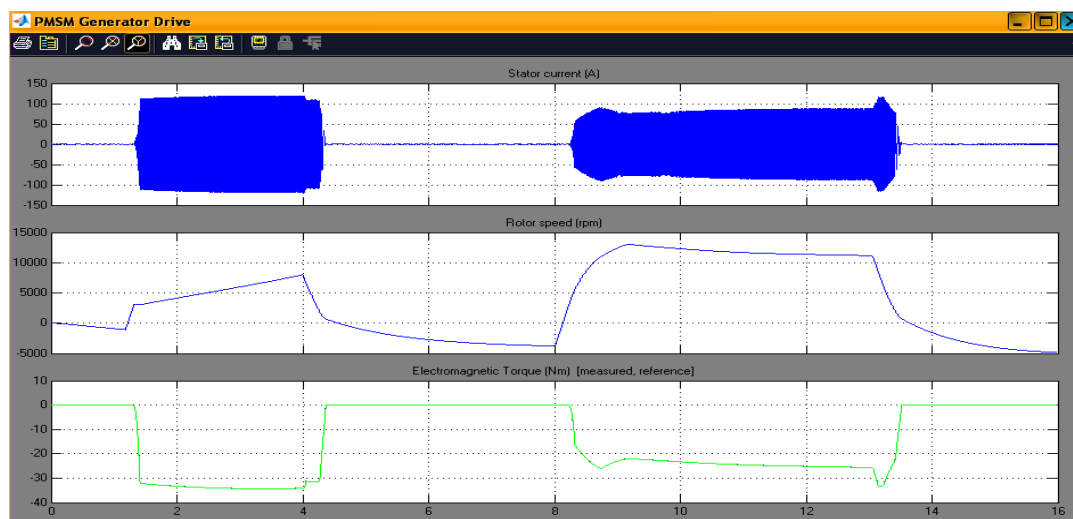
11. ábra. A szinkronmotor áram-, sebesség- és nyomaték időfüggvényei. Jól látható, hogy a nyomaték értékei áram-arányosak

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 kis értékű 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 nem fogadóképes – az 5 kW a hajtásba innen áramlik most.

A 8. s-tól 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 jellemzői, 12. ábra



## 12. ábra. A szinkron generátor áram-, sebesség- és nyomaték időfüggvényei

A generátor a hibrid-jelleg 1 értékeinél helyeződik üzembe, és 35 Nm-nél kisebb nyomatékot felvéve a benzinmotortól, energiát szállít, amelyet részben a szinkron motor fogyaszt el, részben az akkutelep vesz fel. Fordulatszáma 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 zárt IGBT 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 *hibás* válaszokat: (mind hibás)

- A lábpedál helyzetének és a járműsebességnek ismeretében, az aktuális teljesítményt meghatározva és a határokkal összehasonlítva, értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról történjék-e a hajtás.
- A lábpedál helyzetének ismeretében dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás.
- A járműsebesség ismeretében, az aktuális teljesítményt meghatározva és a határokkal összehasonlítva, értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból, vagy a belsőégésű motorról, vagy mindkettőről történjék-e a hajtás.
- A lábpedál helyzetének és a járműsebességnek ismeretében, az aktuális teljesítményt meghatározva és a határokkal összehasonlítva, értékelve dönt az igényelt teljesítmény forrásáról és mértékéről, hogy az akkuból történjék-e a hajtás.

2 Jelölje meg azokat, amelyek helyesek:

- A szinkron motor fordulatszáma nagy tartományban változik, üzemben 3500 és 13000/p értékek között. A bolygóműves kapcsolata miatt némely járműhajtási állapotban ellenkező irányban forgatott is lehet.
- A szinkron motor fordulatszáma 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 szinkron motor fordulatszáma nagy tartományban változik, üzemben 3500 és 13000/p értékek között. A jármű lassításakor a -5000/p sebességet is eléri, de nincsen üzemben.

- A generátor fordulatszáma nagy tartományban változik, üzemben 0 és 5000/perc értékek között. A jármű lassításakor a -5000/p sebességet is eléri..

(Mind a 4 válasz hibás.)