

# **Motor és erőátviteli rendszerek mechatronikája kézirat**

Készítették:

Dr. Varga Zoltán (1-6)  
egyetemi docens, SzIE  
Dr. Bereczky Ákos (7-13)  
egyetemi docens, BME

## Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	8
2.	Tengelykapcsoló működtető rendszerek	9
2.1.	<i>A tengelykapcsoló működtetés mechanikája</i>	9
2.2.	<i>A tengelykapcsoló működtetés folyamata</i>	19
3.	Sebességváltó és beavatkozó rendszerek (funkciók, aktuátorok, szabályozási körök)	24
3.1.	<i>Beavatkozó rendszerek és azok működése a fokozatkapcsolású szinkron sebességváltóknál</i>	25
3.2.	<i>A kapcsolási folyamat irányítása automatikusan működtetett sebességváltóknál</i>	29
3.3.	<i>Az automatizált kapcsolású sebességváltó működtetése, használata</i>	35
3.4.	<i>Tehergépkocsi automatizált sebességváltójának mechatronikai rendszere</i>	37
3.5.	<i>Az automata sebességváltók mechatronikája</i>	44
4.	Tervezési lépések és modellezési eljárások	49
4.1.	<i>Hajtáslánc dinamikai modellezése a tengelykapcsoló működése szempontjából</i>	49
4.1.1.	A fizikai modellek megalkotásának és alkalmazásának általános szempontjai	49
4.1.2.	Dinamikai modellek megvalósítása lengőrendszerek csatolt modelljeivel	50
4.1.7.	A hajtáslánc dinamikai modellje	54
4.1.9.	Háromtömegű egyszerűsített hajtásláncmodell alkalmazása a tengelykapcsoló vizsgálatához	56
4.1.17.	További szempontok tengelykapcsolók tervezéséhez	63
4.2.	<i>Irányítási rendszerek alkalmazása tengelykapcsolók automatikus működtetéséhez</i>	64
4.2.1.	Tengelykapcsoló automatikus működtetése	64
4.2.2.	A dinamikai modell alkalmazása irányítási módszerek modellalapú fejlesztéséhez	68
5.	Összkerék-hajtási rendszerek, speciális váltóművek, kiegészítő hajtások	71
5.1.	<i>Az összkerék-hajtású gépkocsik jellegzetességei</i>	71
5.1.1.	Hossz- és keresztirányú motorbeépítésű összkerék-hajtás változatok	71
5.2.	<i>Mechatronikai rendszerű összkerék-hajtás rendszerek</i>	72
5.2.1.	ZF elektrohidraulikusan önzáró kúpkerekes differenciálmű	72
5.2.2.	Powerlock II elektronikusan működő differenciálzár	72
5.2.3.	Nyomaték áthelyezéssel működő differenciálmű	73
5.2.4.	Olajlemeztes tengelykapcsolók alkalmazása az összkerék-hajtásnál	73
5.2.5.	Haldex LSC korlátozott csúszású tengelykapcsoló	74
	ZF torque vectoring nyomatékáthelyezéssel működő differenciálmű	79
6.	Hibrid-, hibrid-elektromos járművek, hajtásrendszerek architektúrája, szabályozása, menedzsmentje és energiaforrások	81
6.1.	<i>Hibridhajtás története</i>	81

6.2. Üzem módok a hibridhajtásban.....	82
6.2.1. Tisztán villamos hajtás .....	82
6.2.2. Hibrid üzem mód.....	83
6.2.3. Villamos rásegítés .....	83
6.2.4. Generátor üzem mód .....	84
6.3. Hibridizálás .....	85
6.3.1. Start/Stop rendszer .....	85
6.3.2. Mildhibrid.....	85
6.3.3. Fullhibrid .....	86
6.3.4. Plug-in hibrid.....	86
6.4. Hibrid-elektromos hajtásrendszerek architektúrái és szabályzásai.....	86
6.4.1. A Hibrid Elektromos hajtásláncok felépítése .....	88
6.4.2. Soros hibrid-elektromos hajtásrendszer .....	89
6.4.2.1. Párhuzamos hibrid-elektromos hajtásrendszer .....	91
6.4.2.1.1. Nyomatékösszegző hibrid-elektromos hajtásrendszer .....	92
6.4.2.1.2. Fordulatszám összegző hibrid-elektromos hajtásrendszer .....	99
6.5. Energiaforrások.....	101
6.5.1. Elektrokémiai akkumulátorok .....	101
6.5.2. Ultrakapacitások .....	103
6.5.3. Nagysebességű lendkerekek .....	103
6.5.3.1. Lendkerekek működési elve .....	103
7. A Belsőégésű motor menedzsment szembeni igények követelmények, fejlesztési célok <b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>	
7.1. A belsőégésű motorok.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.2. A belsőégésű motorok körfolyamatai, veszteségei és hatásfokok.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.3. További fontos mérőszámok .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.4. Valóságos munkafolyamatok és veszteségek .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.4.1. Töltet csere veszteségek .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.4.2. A kompresszió és az expanzió nem adiabatikus .	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.4.3. Véges égési sebesség, égés során hő átadás a falak irányába és tökéletlen égés .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.4.4. Gázveszteségek .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
7.5. Belsőégésű motorok teljes terheléses jelleggörbéi.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8. Ottó-motorok keverékképzési rendszerei és azok menedzsmentje	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.1. Ottó-motorok szabályozása .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.2. Keverékképzés Ottó-motorokban.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.2.1. Levegő-tüzelőanyag keverék megválasztása.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.3. Elemi karburátor és segéd berendezései .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.4. Benzinbefecskendező rendszerek.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.4.1. Hengerenkénti befecskendező rendszerek.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>
8.4.2. Központi befecskendezők.....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>

- 8.4.3. Közvetlen befecskendezésű rendszerek ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.4. Benzin befecskendező rendszerek elemei és működésük . **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.5. Rendszer elemek leírása ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.5.1. Torlasztó lapos levegőmennyiség jeladó ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.5.2. Hődrótos jeladó ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.5.3. Hőfilmes levegő mennyiség jeladó ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.5.4. Kétállású lambda szonda ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 8.4.5.5. A szélessávú lambdaszonda ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
9. Az Ottó-motorok gyújtás rendszerei és azok menedzsmentje **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.1. Hagyományos gyújtórendszerek..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.2. Tirisztoros gyújtás..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.3. Kettős szekunder kivezetésű vagy parazita gyújtó rendszerek .. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.4. Hengerenkénti transzformátoros gyújtó rendszerek ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.5. Abnormális égési folyamatok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.5.1. Kopogásos égés ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.5.1.1. Kopogásos égés felügyeleti rendszer ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 9.5.2. Öngyulladás..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
10. Diesel-motorok keverékképző rendszerei és azok mechatronikai elemei **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1. Diesel-motorok égési folyamatai..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1.1. Soros rendszerű, állandó löketű adagoló szivattyú ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1.2. Soros rendszerű, lökettolókás adagoló szivattyú **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1.3. Elosztórendszerű adagoló szivattyúk ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1.4. Radiál dugattyús elosztó rendszerű adagoló szivattyú..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1.5. Adagoló-porlasztó rendszer működése (UIS, PD) ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.1.6. Common Rail rendszer..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.2. Befecskendező vezeték..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.3. Porlasztók..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.3.1. Nyitott vagy szabályzócsapos befecskendezők.. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.3.2. Zárt vagy lyukporlasztók..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.4. Égésterék..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.4.1. Előkamrás égéstér ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.4.2. Örvénykamra..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.4.3. Hártyás keverékképzés..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.4.4. Direkt befecskendezés..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.5. Diesel motorok menedzsment rendszerek és szabályzó körök. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**

- 10.5.1. A soros adagoló szivattyús rendszerek menedzsmentje. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.5.2. Elosztó rendszerű befecskendező szivattyúk (axiál és radiál dugattyús) és adagoló-porlasztó rendszerek menedzsmentje ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 10.5.3. Common Rail rendszerek menedzsmentje ..... Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
11. Károsanyag kibocsátás csökkentő rendszerek és azok menedzsmentje **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.1. Motor paraméterek hatása a károsanyag kibocsátásra ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2. Emisszió csökkentő eljárások ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.1. A motor előtti eljárások ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.2. A motorban megvalósított eljárások..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.3. Nagy légfeleslegű motorok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.4. Füstgáz visszavezetés alkalmazása ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.5. Motor után megvalósítható (szekunder) eljárások ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.5.1. Nem szelektív katalizátorok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.5.2. szelektív katalizátorok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 11.2.5.3. Részecske szűrők..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
12. Teljesítmény növelési módszerek és azok menedzsmentje **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 12.1. Mechanikus feltöltés ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 12.2. Turbófeltöltés..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 12.3. Nyomáshullámmal történő feltöltés..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 12.4. Feltöltéssel elérhető teljesítménynövelés korlátai..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
13. Belsőégésű motorok fedélzeti diagnosztikája **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.1. Bevezetés ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.2. Diagnosztikai hibakódok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.3. Hibakijelzés ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.3.1. A motor diagnosztikai jelzőlámpa (MIL)..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.4. Az OBD rendszer elemei, felépítése ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5. Az OBD rendszer funkciói (OBD II, EOBD)..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.1. Átfogó Komponens Felügyelet (Comprehensive Components Diagnose) **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.2. A katalizátor átalakítási hatékonyságának vizsgálata ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3. lambda-szabályozás az OBD II-ben ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3.1. A lambda-szonda öregedésének vizsgálata **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3.2. Az elő lambda-szonda reakcióidejének vizsgálata... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3.3. Az elő lambda-szonda feszültségének vizsgálata..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**

- 13.5.3.4. Az elő lambda-szonda feszültséggörbéje eltolódásának vizsgálata és adaptációja..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3.5. A lambda-szonda fűtése ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3.6. Az utó lambda-szonda szabályozáshatárának diagnosztizálása ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.3. 7. Az utó lambda-szonda mozgásának diagnosztikája **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.4. A tüzelőanyag tank szellőztető rendszere ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.5. Szivárgásvizsgálat ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.6. Kipufogógáz visszavezetés ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.7. Elektromos gázpedál-folytószelep kapcsolat, működtetés..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.8. Égéskimaradás vizsgálat ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.9. Alapjáratszabályozás..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.10. Gyújtófeszültség elosztó ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.11. Töltőnyomás szabályzás..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.5.12. CAN adatbusz ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.6. Az *OBD-re* vonatkozó követelmények a legújabb európai típusvizsgálati előírásokban ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.6.1. A személygépjárművek *OBD* rendszereire vonatkozó legfontosabb követelmények az *EURO 6* előírás alapján..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 13.6.2. A tehergépjárművek *OBD* rendszereire vonatkozó legfontosabb követelmények az *EURO VI* előírás tervezet alapján ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- A tüzelőanyag-rendszer ellenőrzése..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
14. Az európai emissziós típusvizsgálatok során alkalmazott vizsgálati ciklusok **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 14.1. A személygépjárművek emissziós típusvizsgálatakor alkalmazott ciklus..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 14.2. A tehergépjárművek kiserelt motorjainak típusvizsgálatakor alkalmazott ciklusok ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 14.2.1. Bevezetés..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 14.2.2. Az *ESC* vizsgálati ciklus ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 14.2.3. Az *ELR* vizsgálati ciklus..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 14.2.4. Az *ETC* vizsgálati ciklus..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
15. 3. A kipufogógáz-komponensek mérési elvei **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.1. Oxigén mérése paramágneses gázelemzővel ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.2. *NO<sub>x</sub>* mérése kemilumineszcens elven mérő műszerrel. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.3. *CO* mérése infravörös abszorpciós elven működő mérőműszerrel. **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.4. *THC* mérése lángionizációs gázelemzővel ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.5. Részecske tömeg meghatározása..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.5.1. A teljesáramú hígítórendszer..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.5.2. A részecske-mintavevő rendszer ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.6. Részecske szám meghatározása ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**

- 15.7. A metán mérési elve.....**Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.8. Ammónia mérési elve.....**Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.9. Az európai emissziós típusvizsgálati előírásokban szereplő határértékek csökkenési folyamatainak bemutatása.....**Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.9.1. A személygépjármű károsanyag-kibocsátásokra vonatkozó határértékek szigorodása ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.9.1.1. A benzinüzemű motorral hajtott személygépjárművek....**Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.9.1.2. A gázolajüzemű motorral hajtott személygépjárművek...**Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
- 15.9.2. A tehergépjármű motorok károsanyag-kibocsátásaira vonatkozó határértékek szigorodása ..... **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**
16. Vizsgálati ciklusok **Hiba! A könyvjelző nem létezik.**

## 1. Bevezetés

A jelen jegyzet elsősorban Járműmechanikus hallgatóknak szól akik eddigi tanulmányaik során jelentős tapasztalattal rendelkeznek szabályzástechnika, villamos gépek üzemeltetése és tervezése, valamint a beavatkozók és szenzorok területén. Viszont a belsőégésű motorok és hajtások területével csak érintőlegesen találkoztak. Így a jegyzetben részletesen foglalkozunk ezen rendszerek felépítésével és működésével.

A szerzők kiemelt szerepet tulajdonítanak arra, hogy a szükséges elméleti háttérrel is bemutassák, ami elengedhetetlen a rendszerek működésének megértéséhez.

Általános bevezetés, hogy miért foglalkozunk vele (oktatás és ipari igények)

melyek a fejlesztési trendek ( a motoros trendeket megírom; károsanyag kibocsátás, hatásfok és down-sizing stb....),

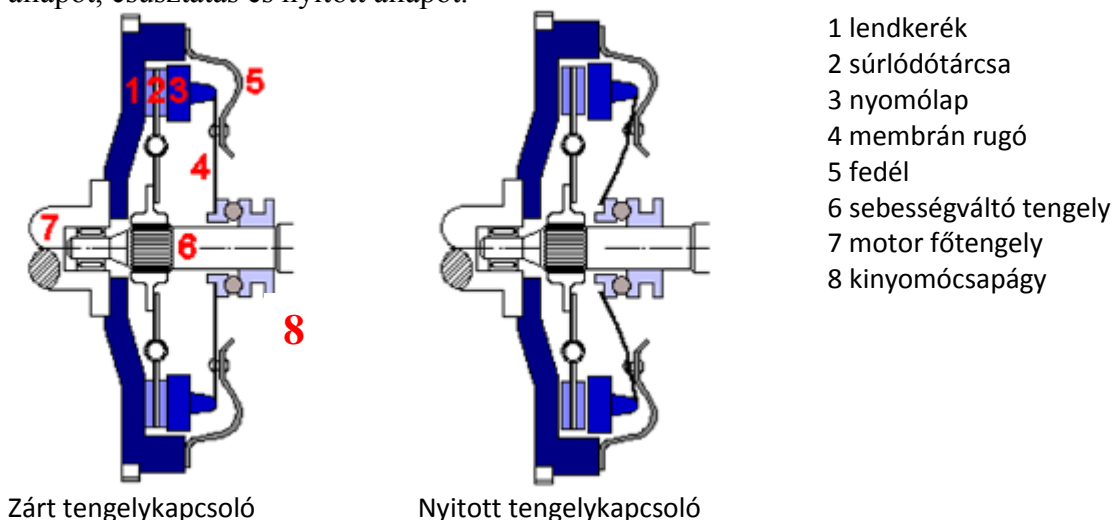


## 2. Tengelykapcsoló működtető rendszerek

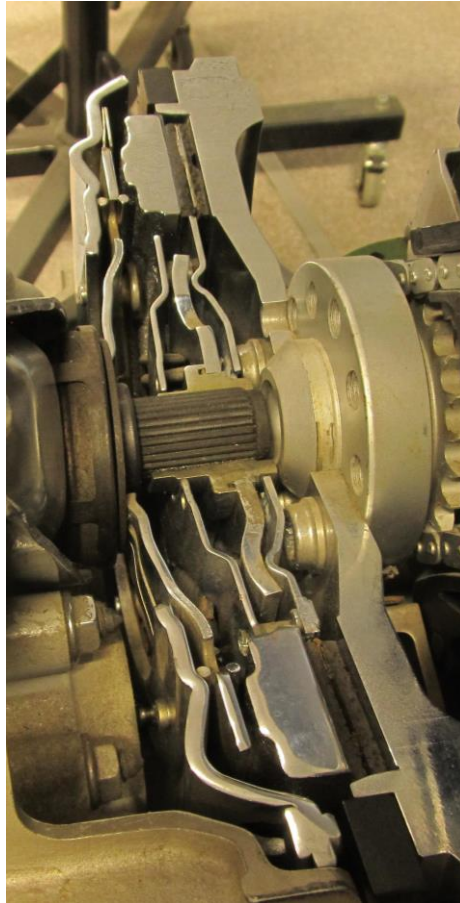
Tengelykapcsolókat nagy számban alkalmaznak a gépjárművekben, a jármű hajtásláncban, de az alábbiakban a belsőégésű motoros járművek indításában szerepet játszó súrlódó tengelykapcsolók működtetéséről lesz szó. Alapesetben ezt a működtetést a gépkocsivezető végzi a tengelykapcsoló pedál segítségével a jármű indításakor, sebességváltáskor és azokban a forgalmi helyzetekben, amikor a motort le kell választani a hajtásrendszerről. A leggyakrabban alkalmazott berendezés egytárcsás száraz tengelykapcsolóból és működtető rendszerből áll.

### 2.1. A tengelykapcsoló működtetés mechanikája

A tengelykapcsolóban a nyomatékot súrlódás viszi át, amelyet leginkább egy előfeszített membrán rugó által keltett normálerő hoz létre. A kiemelés során ezt a normál erőt szüntetjük meg a súrlódó felületek egymáshoz képesti eltávolításával. A működtetés fő szakaszai: zárt állapot, csúsztatás és nyitott állapot.

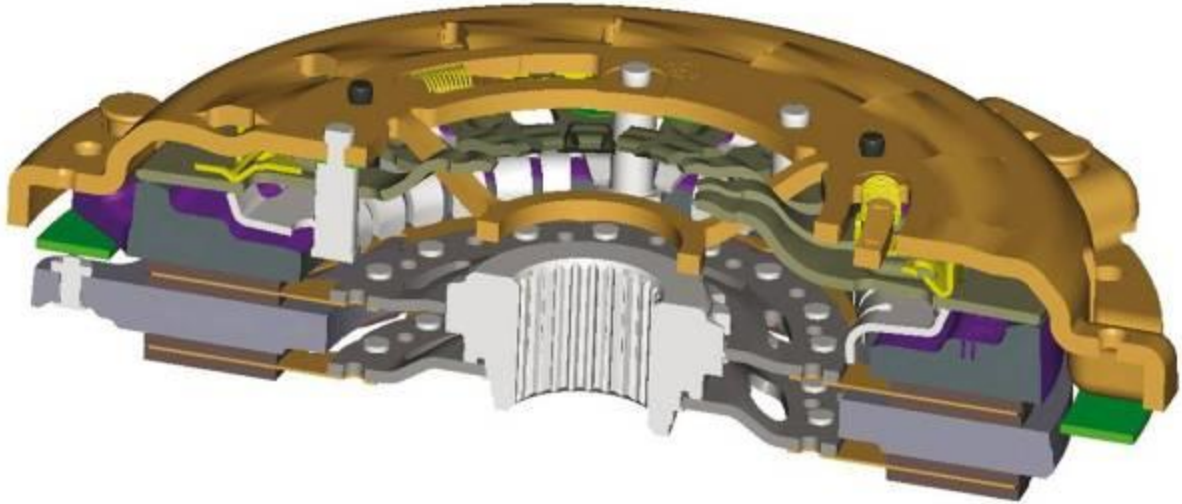


2.1.1. ábra Egytárcsás száraz tengelykapcsoló elvi felépítése [2,1]



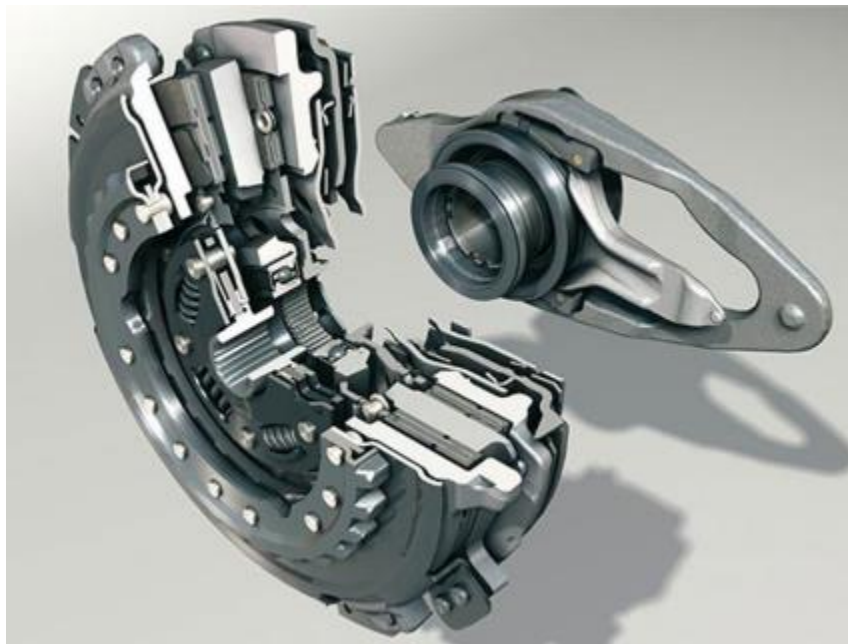
**2.1.2. ábra Egytárcsás száraz tengelykapcsoló gyakorlati felépítése**

A száraz tengelykapcsolók működtetése a normálerőt létrehozó membrán rugó deformálásával történik. A fedélben rögzített rugó nyúlványainak benyomásával a rugó peremén kifejtett nyomóerő csökken és perem elmozdul a fedél irányában. Ezt a mozgást követi a fedélhez lágy rugókötetekkel kötött nyomólap. A kiemelés befejezésekor a nyomólap és a súrlódó tárcsa között hézag keletkezik. A nyúlványok benyomása a kinyomó csapággal történik, amely a nyúlványok végére központosan rögzített golyóscsapágy.

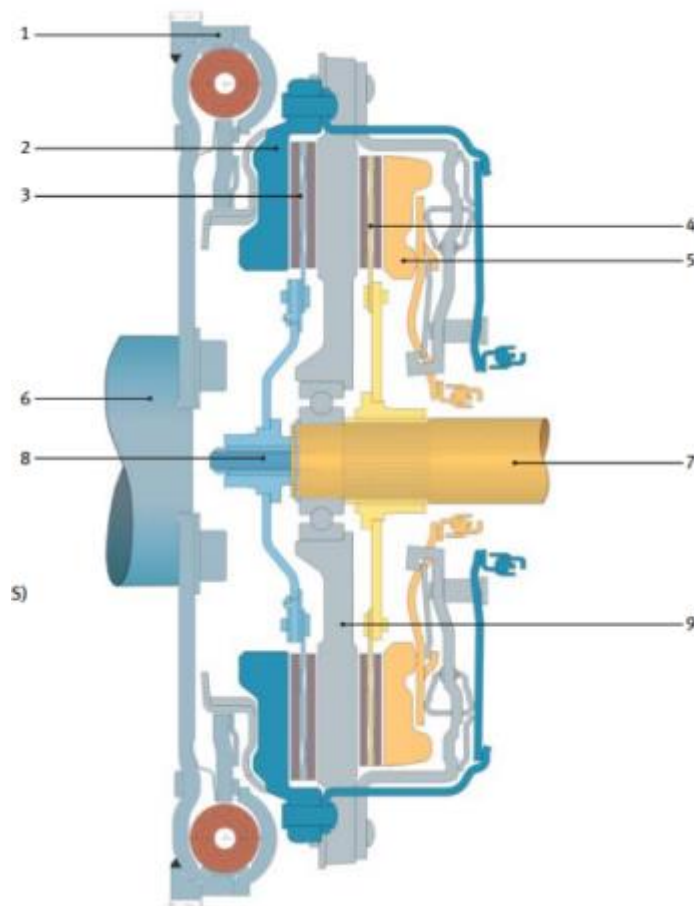


2.1.3. ábra Kéttárcsás száraz tengelykapcsoló [2,2]

Az egytárcsás száraz tengelykapcsolók mellett a nagyobb nyomaték átvitel érdekében használhatnak kéttárcsás tengelykapcsolót is, amelyeknél a két súrlódó tárcsa közös tengelyen van, két nyomólapot nyom az egyetlen membrán rugó. A kiemelés a membránrugó közepére illesztett kinyomó csapággal történik, mint az egytárcsás kapcsolóknál. Különbség, hogy a kiemelés hossza ezeknél nagyobb, mivel a szükséges légrést 4 helyen kell biztosítani a súrlódó felületek között kiemelésnél. A kiemelés problémája a közbenső nyomólap korrekt mozgatása: éppen annyit mozduljon el a súrlódó tárcsától, hogy a légrések mind a 4 helyen egyenlők legyenek a kopottsági állapotoktól függetlenül. A megoldás az, hogy a közbenső nyomólapot (is) laprugókötegek vezetnek meg a fedélhez (motor főtengelyhez) képest és ezek húzzák el a fedél felé kiemeléskor. A korrekt légrést a nyomólapba épített ütköző csapok (az ábrán szürke) állítják be, amelyek súrlódással vannak a nyomólapba illetve. A csapok illesztő ereje kisebb, mint a fő membrán rugó erő de nagyobb, mint a visszahúzó (laprugókötegek) rugók ereje. Ezért képesek a pontos hézagtartásra és az állandó kopáskorrekciókra.



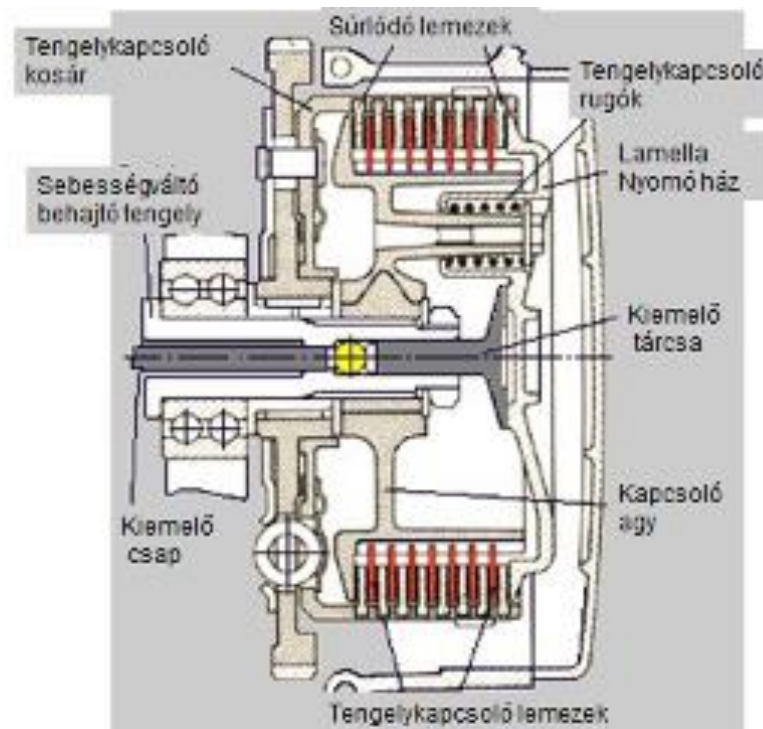
2.1.4. ábra Kettős száraz tengelykapcsoló gépészeti rajza [2,2]



2.1.5. ábra száraz tengelykapcsoló elvi rajza [2,2]

*1 kéttömegű lendkerék motor oldali tömeg, 2 nyomólap 1. (sebességváltó behajtó)tengely, 3 súrlódótárcsa 1. tengely, 4 súrlódótárcsa 2. tengely, 5 nyomólap 2. tengely, motor főtengely, 7 2. tengely, 8 1. tengely, 9 lendkerék sebességváltó oldali tömeg,*

A kéttárcsás száraz tengelykapcsolókkal nem szabad összetéveszteni a kettős tengelykapcsolót, amelyet a DSG sebességváltókban használnak. Ezeknél a szerkezeteknél két behajtó tengelyen keresztül jut a nyomaték a sebességváltóba. A két tengelykapcsoló egymástól függetlenül működtethető két kinyomó csapággal. A kinyomó csapággyak lehetnek kívülről mozgatott kiemelő karokon, illetve központi hidraulikus munkahengeren.



2.1.6. ábra Lemezes tengelykapcsoló metszete [2,3]



2.1.7. ábra Lemezes tengelykapcsoló motorkerékpár számára [2,4]

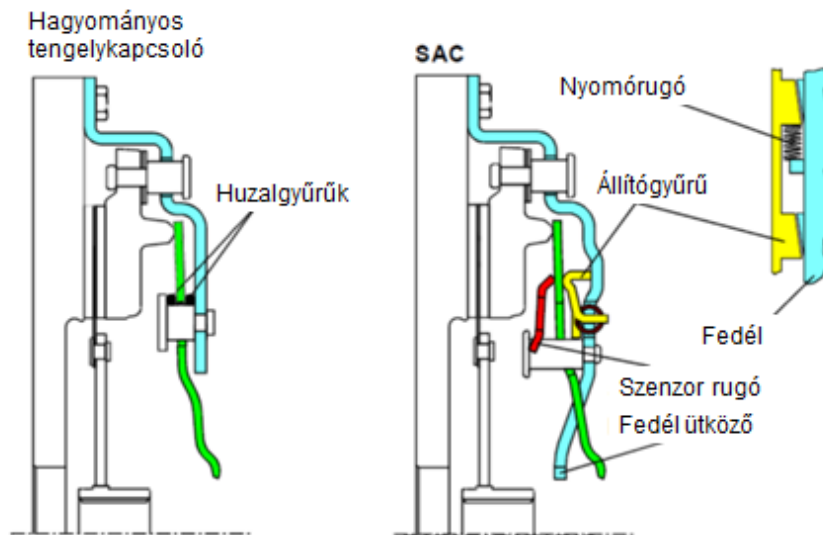
A száraz tengelykapcsolókon kívül alkalmaznak olajban lévő lemezes szerkezeteket is, amelyeknél több tárcsát tekeres, membrán vagy tányérrugóval illetve hidraulikus munkahengerrel nyomnak össze. A főként motorkerékpároknál alkalmazott mechanikus kiemelésű tengelykapcsolóknál a nyomórugó(k) deformálása egy tárcsával történik, amit a tengelykapcsoló tengelyében lévő csappal nyomnak meg. A csap két része között a csapágyat



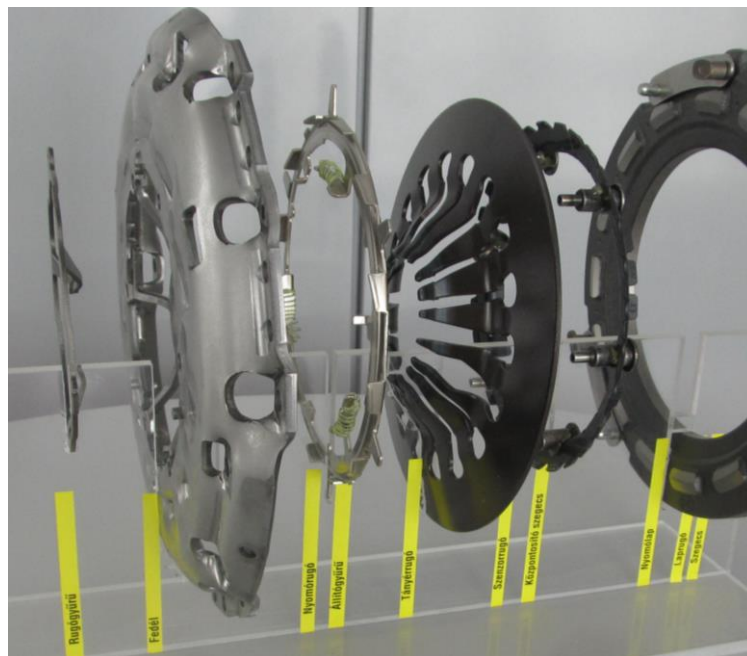
helyettesítő golyó van. A hidraulikus működtetésű tengelykapcsolókról bővebben a sebességváltóról szóló fejezetben lesz szó.

A kiemelő szerkezet fontos része a szerkezet kopás utánállítására szolgáló együttes. Az utánállítást korábban a szervíztevékenység során végezték, a pedál holtjáték rendszeres beállításával. A korszerű tengelykapcsolókban automatikus utánállítókat használnak a folyamatos állításra.

Erre jó példa a LUK SAC (Self Adjusting Clutch=önszabályzó tengelykapcsoló) automatikus rendszere.



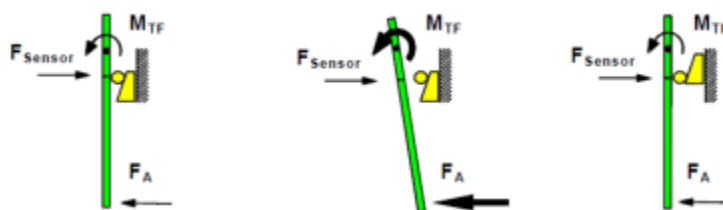
2.1.8. ábra Automatikus utánállító szerkezet [2,2]



2.1.9. ábra Automatikus utánállító szerkezet

A hagyományos tengelykapcsoló (ábra balra) hátránya, hogy ha kopik a súrlódó betét, akkor a nyomólap balra mozdul a rugó peremével együtt. Mivel a rugó közepe a csapágyra van ültetve, ami a pedálon keresztül felütközik, a tengelykapcsoló önmagát kezdi kiemelni, és az

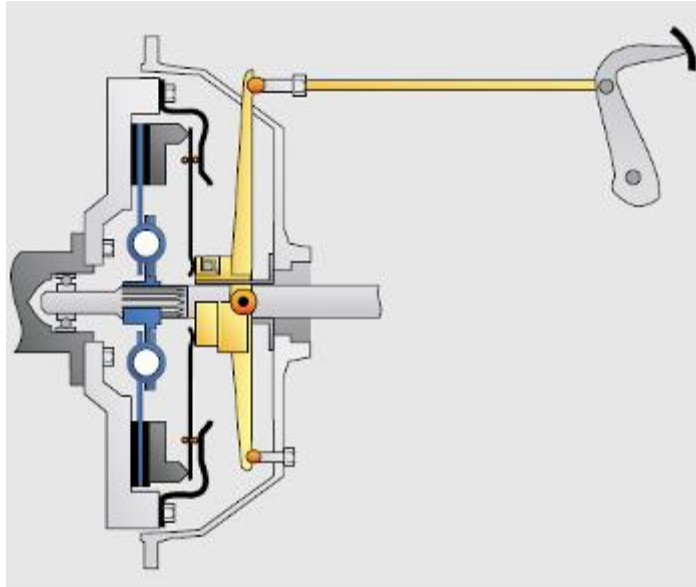
átvihető nyomaték csökken. A cél tehát a membrán rugó közepét a tengelykapcsoló kopása során is helyben tartani. Ezt az SAC rendszer a rugók megfogásának a mozgásával éri el. A hagyományos tengelykapcsolónál a rugót két huzalkarikába ültetve szegecselik a fedélhez, tehát a feltámasztási pont nem tud mozogni, a rugó deformációt viszont megengedi ez a megfogás. Az SAC a membrán rugót ugyan azon a helyen egy tányérrugó (piros az ábrán, szenzor rugó) és egy állító gyűrű (sárga) között rögzíti. Amennyiben a membrán rugó karimája alaphelyzetben (zárt tengelykapcsoló) a kopás miatt balra elmozdul, a szenzor rugó deformálódni engedi a membrán rugót, és a membrán rugó érintkezési pontja balra mozdul az állítógyűrűhöz képest. A keletkező elmozdulás miatti résbe az állító gyűrű ék alakú szegmensei benyomódnak. Az ékeket a fedélhez képest kicsi csavarrugók mozgatják tangenciális irányban, az ékek pedig a fedélben kiképzett ferde felületsorra fekszenek fel. Ezzel a módszerrel a tengelykapcsoló a betétek teljes kopásáig karbantartásmentesen használható.



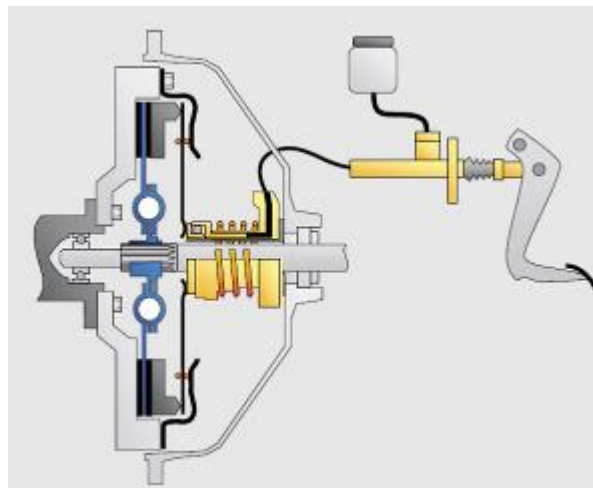
2.1.10. ábra Az automatikus utánállító működése [2,2]

$F_A$  működtető erő,  $F_{\text{szenzor}}$  a szenzor rugó alátámasztó ereje,  $M_{TF}$  a rugó billentő nyomatéka. Kopott tárcsánál a rugó kúposabb, nagyobb erő keletkezik a kinyomócsapágyon, a szenzor rugó lenyomódik és a kis sárga ék az alátámasztást balra nyomja

A működtetéshez szükséges erőt személygépkocsikban huzallal (bovden) vagy hidraulikával vezetik a pedáltól a tengelykapcsoló kinyomó csapágyig. Korszerű megoldás a központi kinyomó csapágynak nevezett hidraulikus működtetésű rendszer (ábra), amelyiknél a hidraulikus munkahenger és a csapágy egybe van építve. A működtetést tehát ennek a csapágynak a mozgatása jelenti, miközben erőt fejtünk ki a tengelykapcsolóban lévő membrán rugóra.

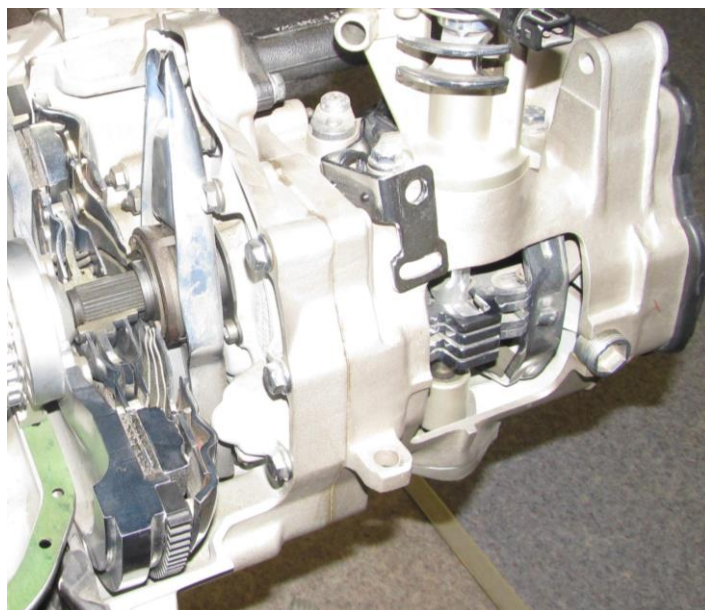


2.1.11. ábra Huzalos tengelykapcsoló működtető szerkezet [2,1]

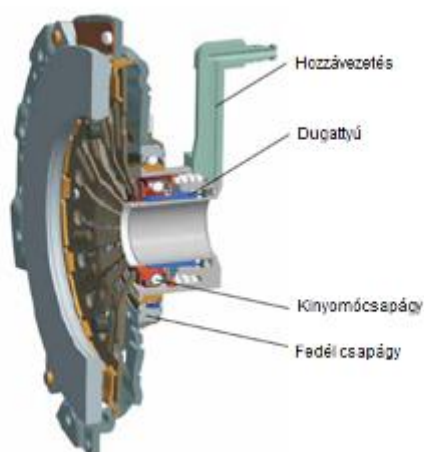


2.1.12. ábra Huzalos tengelykapcsoló működtető szerkezet[2,1]





2.1.13. ábra Hidraulikus tengelykapcsoló működtető szerkezet

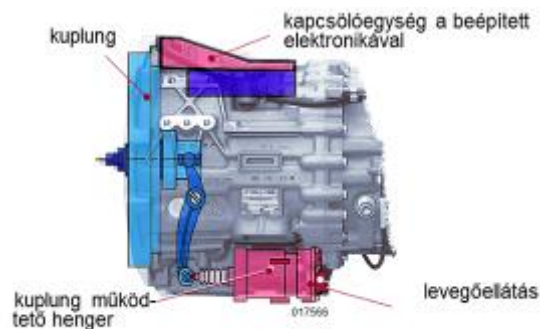


2.1.14. ábra Hidraulikus tengelykapcsoló kiemelő szerkezet központi munkahengerrel [2,2]

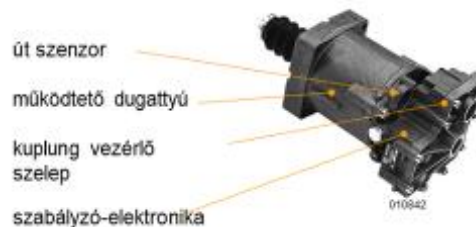
A tengelykapcsolók több fajtájánál a normálerőt hidraulikus úton hozzuk létre és a kiemelés a nyomás megszüntetésével történik. Főként az automata sebességváltóknál használnak ilyeneket.

A rugóval nyomott tengelykapcsolóknál beavatkozás nélküli állapotban a tengelykapcsoló zárt (energiatakarékos, passzív megoldás), míg az olajnyomással záródó tengelykapcsolókat a hidraulikus rendszer aktív állapotában tartja nyomatékot átvinni képes állapotban. A rugós rendszerek működtetéséhez tehát egyenes vonalú elmozdulást kell létrehozni és erőt kell kifejteni, amelyre a hidraulikus munkahenger kiválóan alkalmas. Amennyiben tehát a rendszert függetleníteni akarjuk az embertől, akkor célszerű a hidraulikus munkahenger használata aktuátorként (központi kinyomócsapágy). A hidraulikus munkahengerrel nyomott tengelykapcsolón munkahengerében állandóan fenntartott nyomást kell létrehozni a normálerő kifejtéséhez.

Tehergépkocsiknál a tengelykapcsoló működtetés sűrített levegővel történik, amelyet vagy a tengelykapcsoló pedál vezérel vagy automatikusan vezérel/szabályoz egy elektronikus berendezés.



2.1.15. ábra Automatizált tehergépkocsi tengelykapcsoló működtetés ZF AStronic [2,5]



2.1.16. ábra Automatizált tehergépkocsi tengelykapcsoló működtető henger ZF AStronic [2,5]

A tengelykapcsoló használata a gépkocsivezetés egyik kritikus eleme, gyakorlatot igényel, és közben igénybe veszi a gépkocsivezető figyelmét. Ezért a motorizáció kezdete óta törekednek a jármű indítás és a sebességváltás automatizálására, amelyre számtalan mechanikus, villamos, hidraulikus és hidrodinamikus megoldás született és létezik a gyakorlatban.

Ésszerű automatizálási törekvés a hagyományos tengelykapcsoló működtetés felváltására a széria autók átalakításával olyan járművezetők számára, akik képtelenek a pedálokat működtetni. Ezek utólagosan is beszerelhetők és kizárólag a tengelykapcsolót működtetik automatikusan indításkor és egyszerű kapcsolással sebességváltáskor. A fékpedál lenyomásakor egy villamos motor elforgatja a tengelykapcsoló pedált (kinyomja a tengelykapcsolót). Ekkor kapcsolhatjuk az induló fokozatot, és ha gázt adunk, akkor a motor a tengelykapcsolót egy megfelelő függvény szerint csúsztatási állapotba hozza, majd zárja. Sebességváltáskor egy a sebváltó karon lévő gombot kell megnyomni és old a tengelykapcsoló, gázadásra pedig ismét zár. A folyamat fizikailag átgondolva algoritmizálható a jármű indítás belsőégésű motorhoz kapcsolódó feltételrendszerének figyelembe vételével. Az algoritmus számítógépen futtatható szoftverben valósítható meg, amihez természetesen megfelelő hardver (számítógép) szükséges. A rendszer előre meghatározott függvények alapján működhet, nem veszi figyelembe a környezet (jármű, motor) jellemzőit, vagyis a tengelykapcsoló egyszerű vezérlése történik.

A tengelykapcsoló működtetésében a fentiek alapján két műveletsor van, amely mechatronizálható:

1. a tengelykapcsoló oldás – nyitva tartás - zárás,
2. a tengelykapcsoló csúsztatása.

Az első műveletsorra sebességváltáskor van szükség. A hagyományos kéttengelyes és előtét tengelyes szinkron kapcsolású sebességváltóknál a sebességváltás terheletlen állapotban történhet, tehát a sebességváltás műveletei: gáz elvétel, tengelykapcsoló kiemelés, üres fokozatba kapcsolás, sebesség fokozat választás, sebességfokozat kapcsolás, tengelykapcsoló zárás, gázadás. A folyamat egyszerűen végrehajtható és automatizálható. Hátránya ennek a kapcsolásnak, hogy a jármű hajtását abba kell hagyni egy bizonyos időre (néhány másodpercre), amely sem a motor vezérlésére, sem a jármű dinamikájára nincs jó hatással. A folyamat idejét lehetőség szerint minimalizálni kell.

Az automata bolygóműves és az automatizált kettős tengelykapcsolóval rendelkező nyomatékváltóknál két tengelykapcsoló (vagy súrlódó fék) együttes csúszása közben kapcsolódik a fokozat (változik a kinematikai áttétel), amit a sebességváltókról szóló fejezetben mutatunk be.

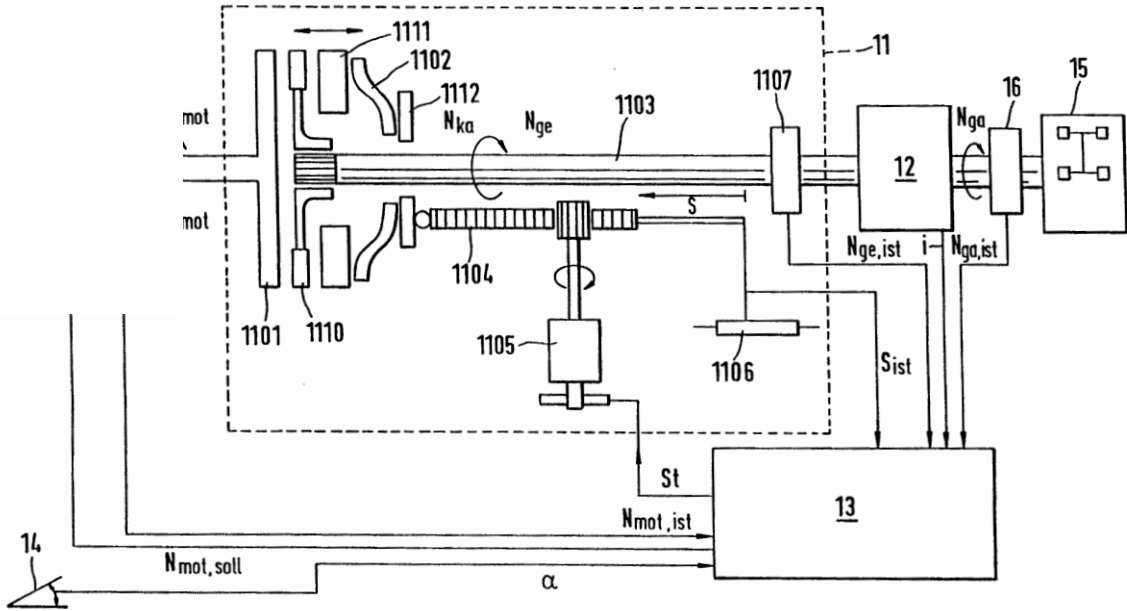
## **2.2. A tengelykapcsoló működtetés folyamata**

A tengelykapcsoló csúsztatására a hagyományos sebességváltóknál a jármű indításakor kerül sor. A motor csak forgó főtengelyén ad le a jármű indításához elegendő nyomatékot és ezért a kezdetben álló később lassabban forgó sebességváltó behajtó tengely és a motor főtengely közé aszinkron gépet kell építeni. A későbbiekben tárgyalt kettős tengelykapcsolóval rendelkező (DSG) sebességváltók fokozatkapcsolásánál is csúsznak a tengelykapcsolók, itt a nyomaték átvitel itt is változó relatív fordulatszámok mellett megy végbe.

A jármű indítása nem mindig előre meghatározott időbeli folyamatként játszódik le, a folyamat függvényei a motor állapotától (fordulatszám, gázpedálállás, üzemmeleg állapot), a járműre ható ellenállásoktól (külső erők, terheléstől függő tömegező, emelkedési ellenállás) a külső hőmérséklettől, a gumiabroncs tapadási viszonyaitól függenek. Ez annyit jelent, hogy ha előre meghatározott körülmények alapján algoritmizáljuk az indítási folyamatot, akkor lesznek olyan esetek, amikor a járművel nem a megkívánt módon tudunk indulni.

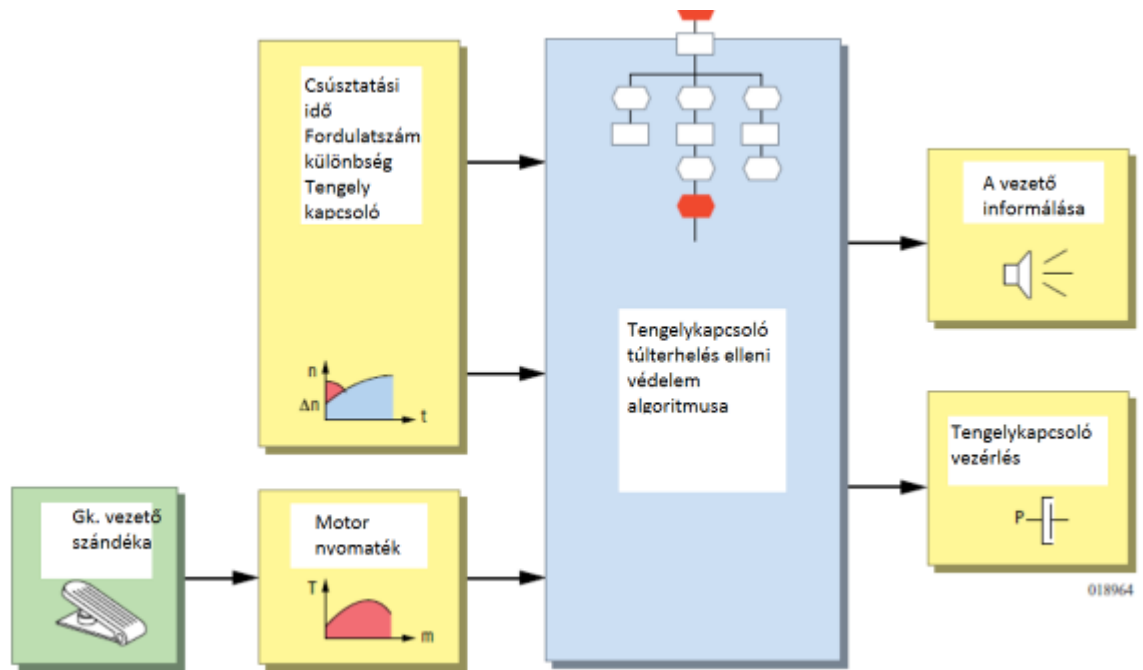


Kritikus körülmény a tengelykapcsoló csúsztatásnál a tengelykapcsoló és a teljes hajtáslánc illetve a jármű rezonálása (Rupf), amelyet az indítás szabályzásnál figyelembe kell venni. Szintén fontos eleme a szabályzásnak a tengelykapcsoló túlhevülésének megakadályozása, amelyet a hőmérséklet szabályzásnál való figyelembe vételével kell megoldani.



2.2.2. ábra Egy tengelykapcsoló működtetés szabályzás a fejlesztések korábbi szakaszából. [2,6]

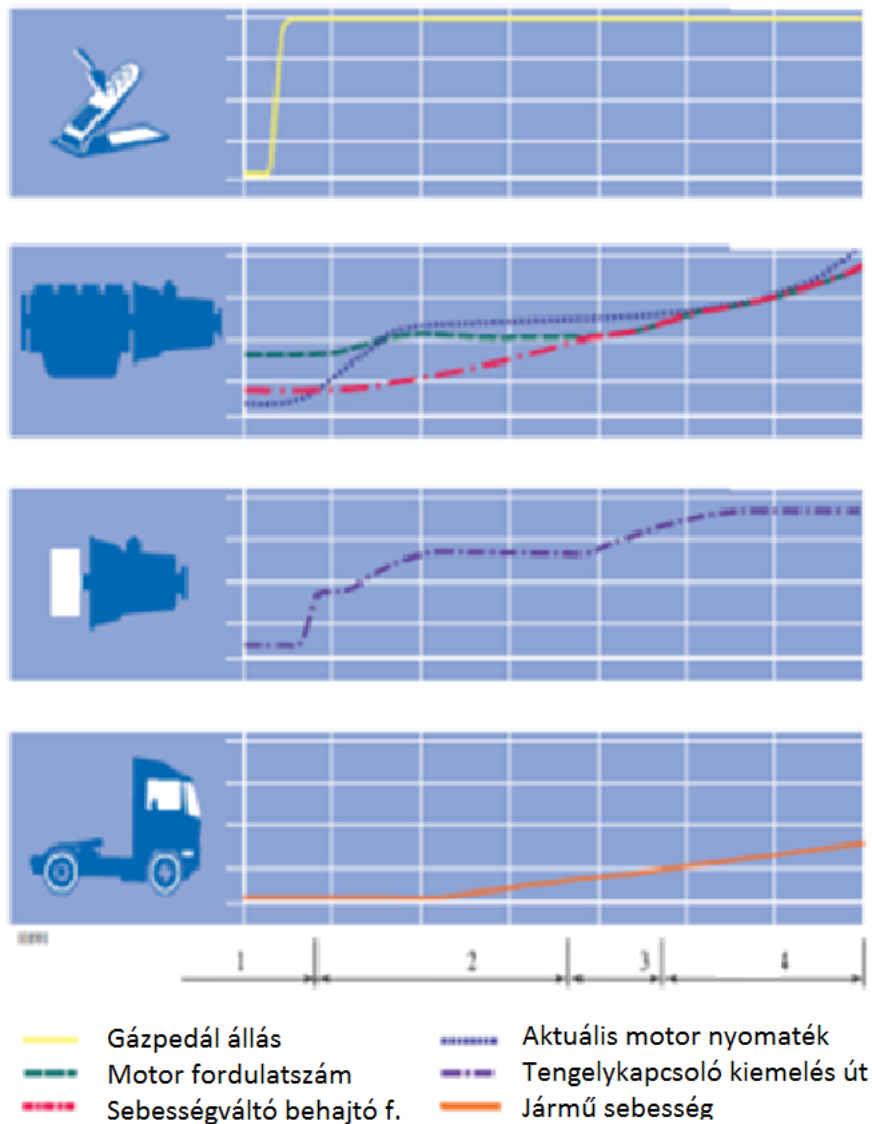
Itt a jármű még passzív elem, a kerék fordulatszám és a jármű mozgásállapota nem avatkozik a szabályzásba. A szabályzó (13) referencia jele a gázpedál állás (14). Bemeneti jelei az egyes hajtóműelemek aktuális fordulatszámai, valamint a kiemelő aktuátor helyzete (1106 útadó). Kimeneti jel a szabályzott motor fordulatszám ( $N_{mot, soll}$ ) és a kiemelő aktuátor állása ( $St$ ).



1.

**2.2.3. ábra A tengelykapcsoló működtetés blokkvázlata tehergépkocsinál a biztonsági algoritlussal a középpontban. [2,5]**

A gépkocsivezető a gázpedállal avatkozik be, a motor nyomatékának referencia értékével. A működtetés jellegét az indítási stratégia határozza meg, amely a biztonsági rendszerben a fordulatszám különbségben és a csúsztatási időben jelentkezik. A túlmelegedés szempontjából kiértékelt vezérlő jelet kapja a tengelykapcsoló aktutátor és amennyiben mégis túlmelegedés veszélyhelyzetbe kerül a tengelykapcsoló, a rendszer a vezetőt figyelmezteti. (ne adjon akkora gázt!)



2.2.4. ábra Indulás automatikus tengelykapcsoló működtetéssel teljes terhelés esetén tehergépkocsival [2,5]

A fenti indulási folyamat során a motor fordulatszámot az aktuátor a folyamatosan növekvő nyomaték elérése érdekében szabályozza. Nincs hirtelen nyomaték ugrás a motor fordulatszám erős csökkenése miatt. Az indulási folyamatnak 4 szakasza van. Az elsőben a gázpedál lenyomást követően kiemelési holt tartományt mozogja be a működtető rendszer. A második szakaszban kezdődik a tengelykapcsoló szabályzás, amely az előírt motorfordulatszámra történik, az aktuátor helyzete és az átvitt nyomaték figyelembe vételével. A referencia fordulatszámot egy olyan függvény állítja elő, amelyet a bekapcsolt sebességfokozat, a sebességváltó behajtó fordulatszáma (tengelykapcsoló ki) és a motor üresjárat fordulatszáma alapján hoztak létre. Amint a tengelykapcsoló ki és bemenő fordulatszám különbsége elér egy bizonyos értéket (pl. 50 ford/perc) kezdődik a 3. szakasz, amikor a tengelykapcsolót lehetőség szerint gyorsan zárja a rendszer. Ha a zárás kb. 90%-ra megtörtént, akkor kezdődik a 4. szakasz, amikor a tengelykapcsoló zárt. Ebben a szakaszban a motornyomaték a vezető által kívánt értékre növekszik.



hivatkozások:

[2,1] [www.kfztech.de](http://www.kfztech.de)

[2,2] [www.schaeffler.com/remotemedien/media/ shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/automotiveaftermarket/brochure\\_1/downloads\\_5/luk\\_kupplungskurs\\_pkw\\_de\\_de.pdf](http://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/automotiveaftermarket/brochure_1/downloads_5/luk_kupplungskurs_pkw_de_de.pdf)

[2,3] [www.bahnsporttechnik.de](http://www.bahnsporttechnik.de)

[2,4] [ultimatemotorcycling.com](http://ultimatemotorcycling.com)

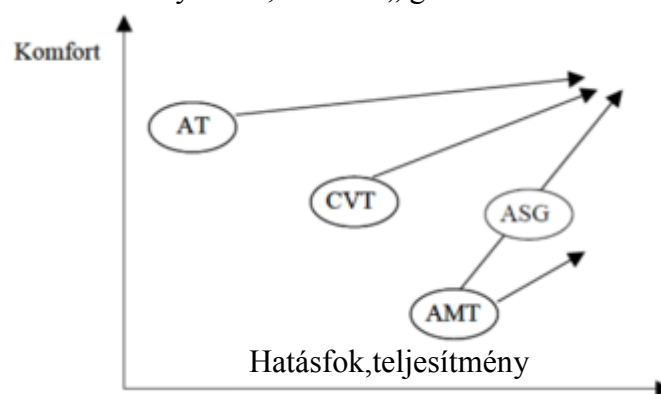
[2,5] [zf.com](http://zf.com)

[2,6] <http://patentimages.storage.googleapis.com/EP0918657B1/00380001.png>

### 3. Sebességváltó és beavatkozó rendszerek (funkciók, aktuátorok, szabályozási körök)

A belsőégésű motorral hajtott járműveknél a motor fordulatszám és nyomaték tartományának kiterjesztése érdekében változtatni kell a nyomaték és fordulatszám áttételt, amelyet leggyakrabban fokozatkapcsolású fogaskerék, illetve bolygókerék hajtóművekkel oldanak meg. Az áttétel változtatás más módjai is előfordulnak a gyakorlatban: hidrodinamikus nyomatékváltók és folyamatosan változtatható áttételű hajtóművek formájában, amelyek közül ez utóbbiak igényelnek magas szintű és bonyolult irányítást.

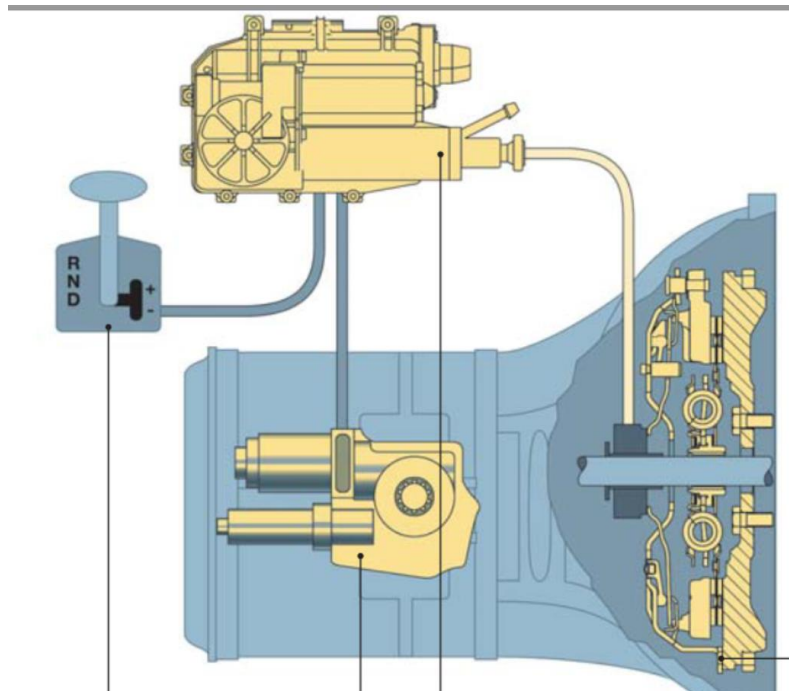
Az észak-amerikai járművekben főként a hidromechnikus nyomatékváltók terjedtek el, amelyekben automatizált a teljes hajtásrendszer működtetése, a vezetőnek csak különleges forgalmi helyzetekhez alkalmazkodva kell beavatkozni a fokozatkapcsolásba. A többi földrészen nagyrészt maradt a gépkocsivezető által működtetett tengelykapcsoló, de léteznek automatizált megoldások az amerikai gyakorlathoz igazodva, illetve újdonságok is születtek, amelyek egyszerűbbek és hatékonyabbak, mint az „igazi” automata váltók.



3.0.1. ábra Az automatizált sebességváltók fajtái és várható fejlődési irányuk[3,1]

(AT= automata váltó, CVT=folyamatosan változtatható áttételű sebességváltó, ASG=Automatizált fokozatkapcsolású sebességváltó, AMT=automatizált kézi kapcsolású sebességváltó)

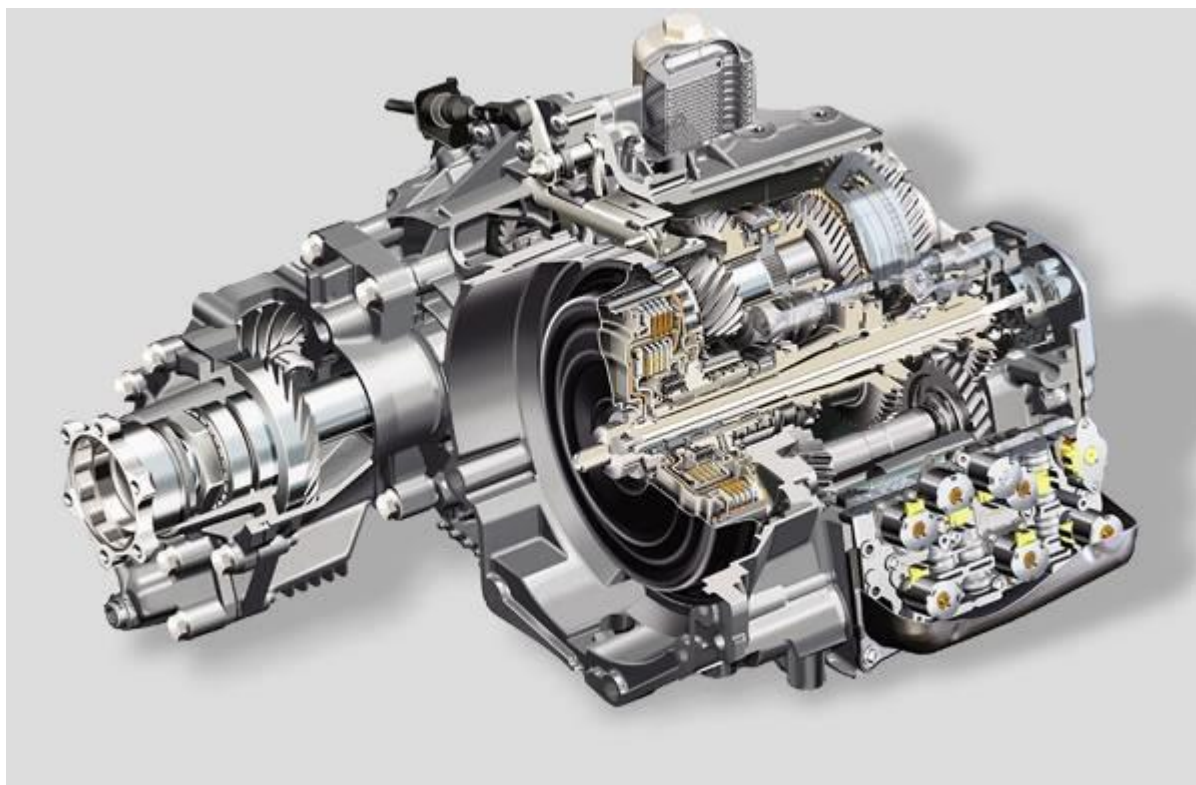




3.0.1. ábra Az automatizált szinkronkapcsolású sebességváltó elvi felépítése [2,2]

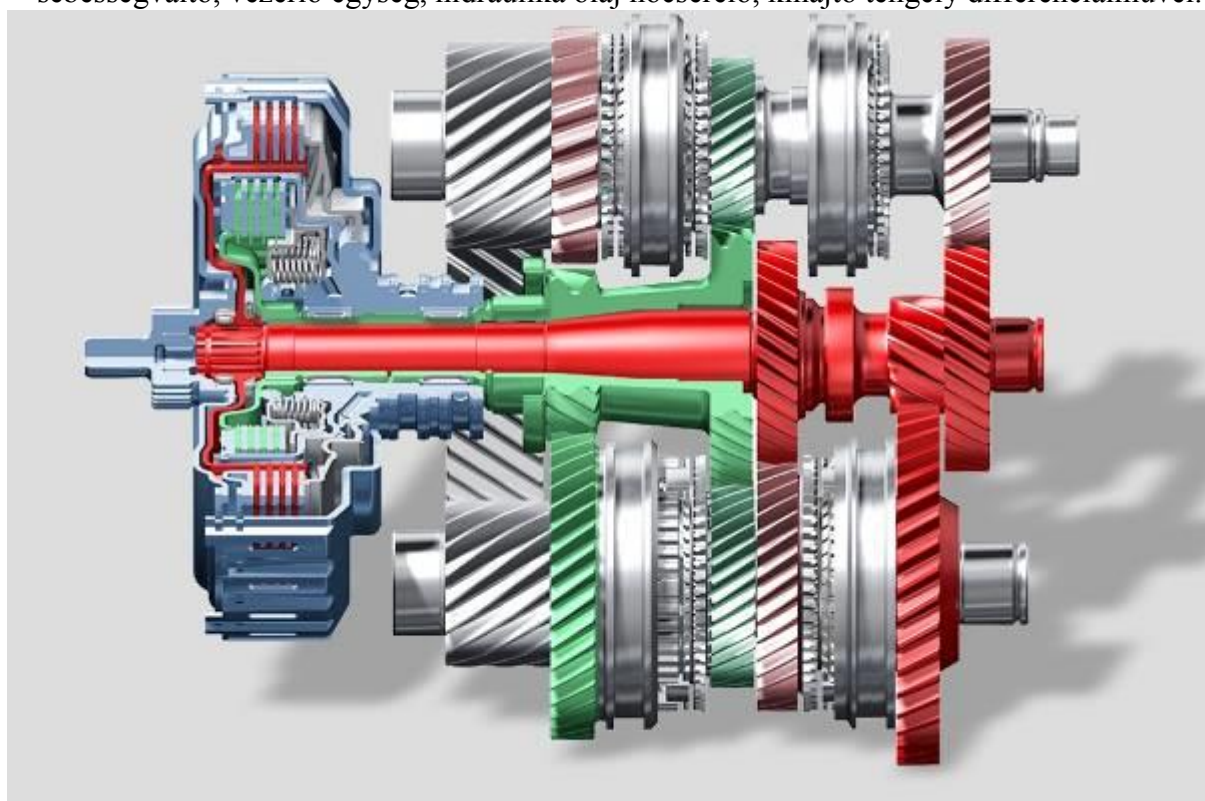
### 3.1. Beavatkozó rendszerek és azok működése a fokozatkapcsolású szinkron sebességváltóknál

Ezeknél a korszerű berendezéseket a kettős tengelykapcsolóval rendelkező (DSG=DoppelSchaltGetriebe) sebességváltók jelentik. Ezek a hajtóművek a korábbiakhoz képest könnyebben beépíthetők a keresztmotoros személygépkocsikba 6 vagy 7 fokozatú kivitelben is, fokozatkapcsolásuk jól automatizálható, és megvalósítható velük a nyomaték megszakítás nélküli sebességváltás.



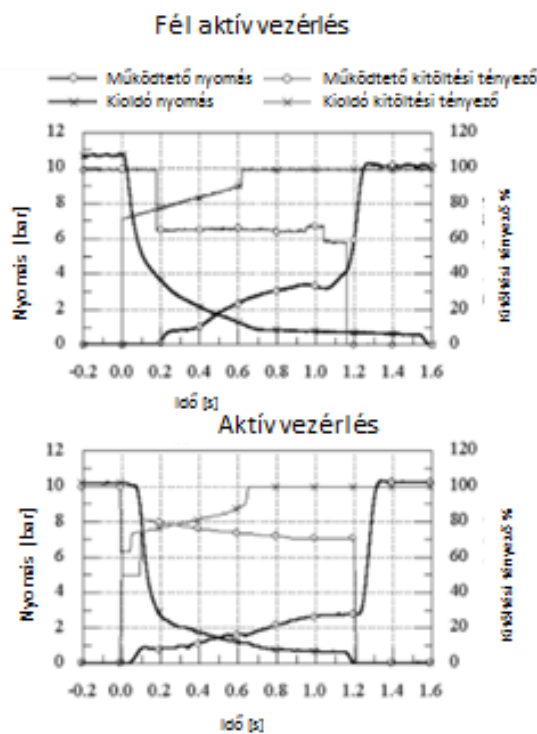
3.1.1. ábra DSG sebességváltó felépítése [3,2]:

motor felfogató perem, kettős tengelykapcsoló, 6 fokozatú szinkron kapcsolású sebességváltó, vezérlő egység, hidraulika olaj hőcserélő, kihajtó tengely differenciálművel.



3.1.2. ábra DSG sebességváltó nyomatékátvivő elemei, a differenciálmű nélkül [3,2]

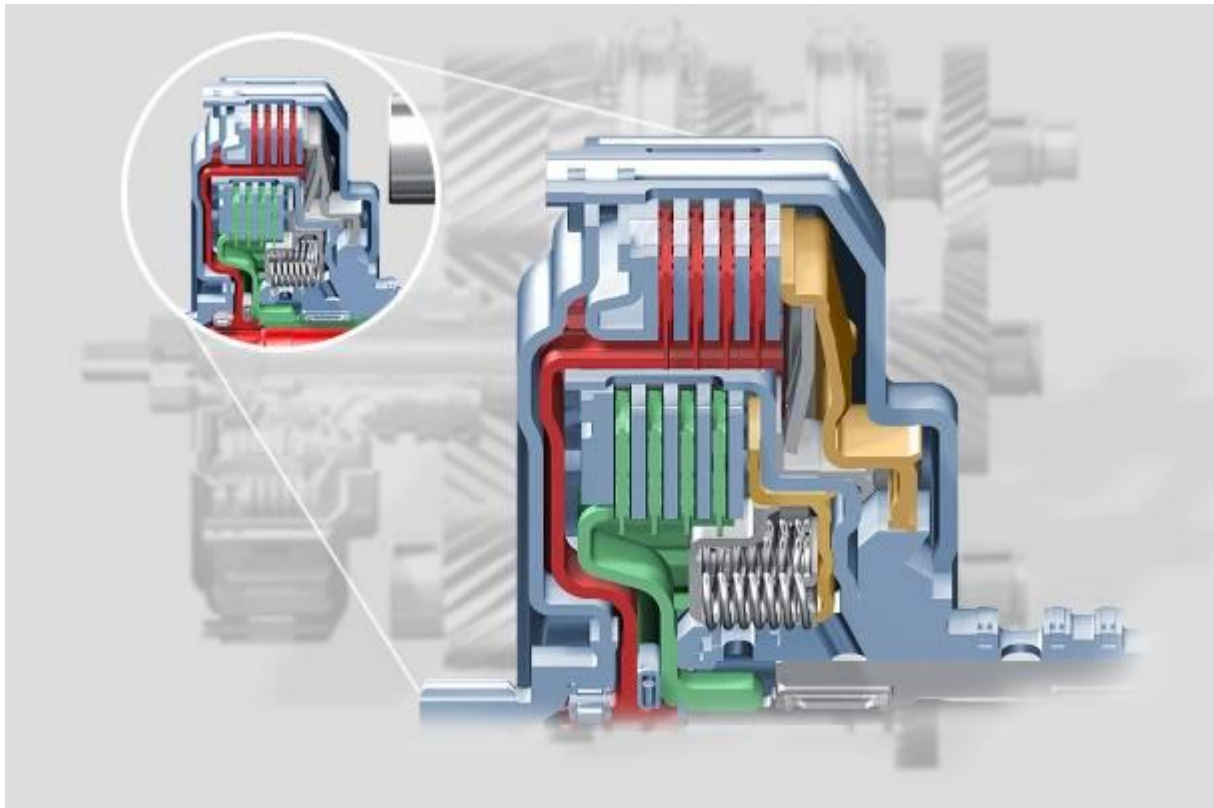
A DSG sebességváltó lényege, hogy két behajtó tengelye van (zöld és piros), amelyeket kettős tengelykapcsoló köt a motor főtengetyhez, illetve két kihajtó tengelye van amelyek a differenciálmű házhoz kötött nagy fogaskerékhez kapcsolódnak egy-egy lehajtó fogaskerékkel. A piros tengelyhez kapcsolódik az 1., 3., 5. és a hátrameneti fokozat szinkron szerkezete, míg a zöld behajtáshoz van kötve a 2., 4. és 6. fokozat kapcsolása. Ez azt jelenti, hogy amíg az egyik behajtó tengely a motorhoz van kötve, addig a másik tengelyen is bekapcsolható a fokozat, de azon nyomatékátvitel nem történik. A fokozatváltásnál a bekapcsolt pl. 3. fokozat előtti 2. vagy utáni 4. fokozat úgy kapcsolódik, hogy a nyomaték nélküli (zöld) tengelyhez kötött kapcsolót zárják hajtás közben és a tényleges kapcsolás a két tengelykapcsoló működtetésével, ebben az esetben a piros nyitásával és a zöld egyidejű zárásával történik. A kapcsolás tehát nyomatékkal terhelt hajtóműláncban történik a két tengelykapcsoló egyidejű csúszása és nyomaték átvitele mellett. Ezt a kinetikailag kedvezőtlen állapotot gondosan kell kezelni a kapcsolási folyamat vezérlése során tengelykapcsoló nyomások pontos szabályzásával, vagy a vezérlést irányító függvények pontos megadásával. A folyamat során a piros tengelykapcsoló nyomása és nyomaték átvitele csökken a zöld tengelykapcsolóé pedig egyidejűleg nő. A nyomás vezérlés vagy szabályzás a két tengelykapcsolóban PWM vezérlésű proporcionális hidraulikus szeleppel történhet pl. az alábbi ábra szerint.



3.1.3. ábra Kettős tengelykapcsoló egybenyitása [3,3]

Az ábrán két kapcsolási stratégia összehasonlítása látható. A PWM impulzus kitöltési tényező (duty ratio) a vékony vonal, a bekapcsoló tengelykapcsolónál o-val jelölt, a kikapcsolónál x-szel jelölt görbén látható. A kialakult nyomásokat vastag vonal mutatja az idő függvényében. Az alsó diagram aktívnek nevezett fejlesztett elektronikus nyomásvezérlése kedvezőbb tengelykapcsoló összenyitási állapotot eredményezett.

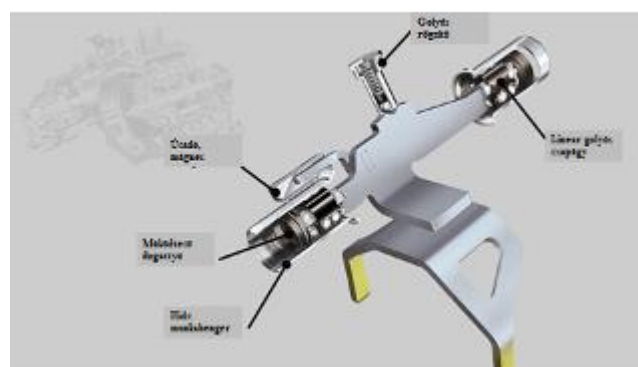
A tengelykapcsoló, amelyben a fenti átkapcsolás megvalósítható az alábbi ábrán látható:



3.1.4. ábra DSG sebességváltó kettős tengelykapcsolója. [3,2]

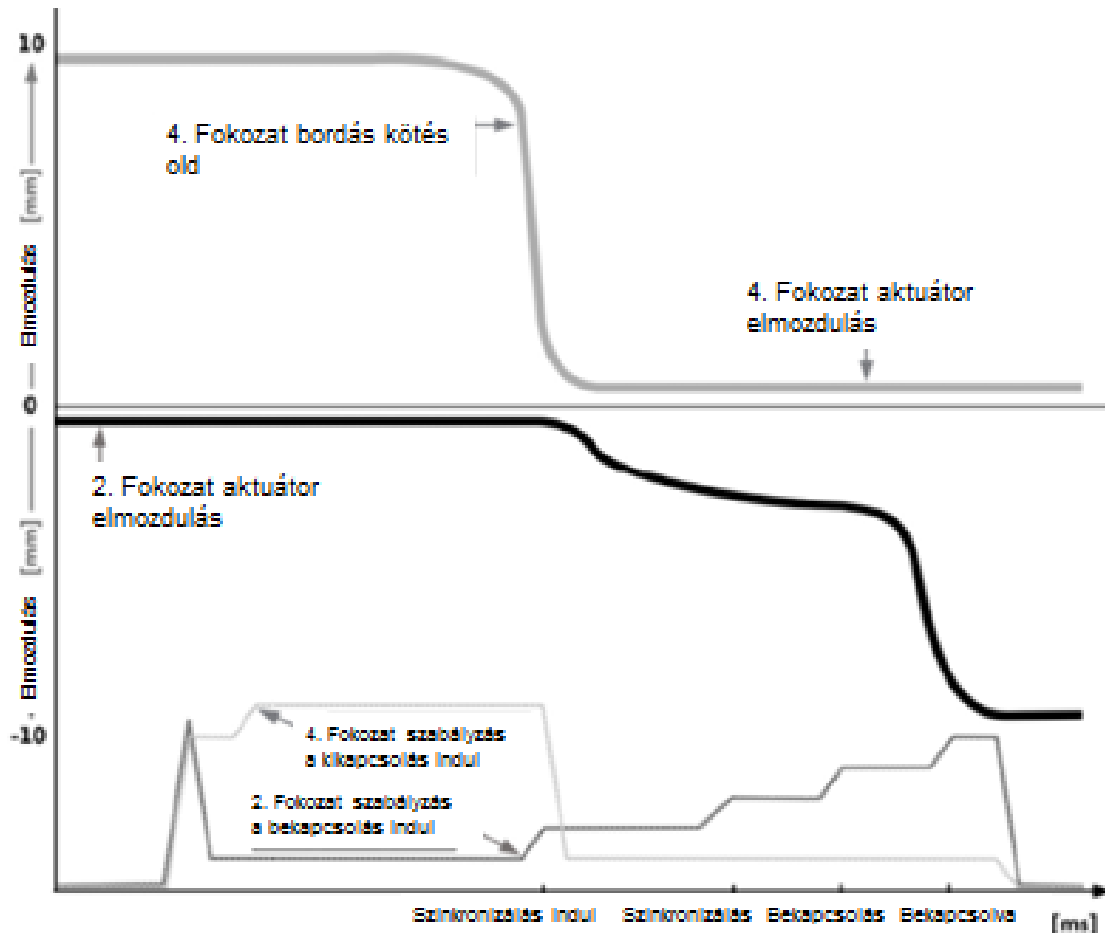
Kék a motorhoz kapcsolódó elemek, piros és zöld a sebességváltó két behajtó tengelyéhez kapcsolódó elemek és bronz a működtető dugattyúk színe. A dugattyúk belső felületére jut a tengelyen keresztül az olajnyomás.

A fokozatok szinkron kapcsolóval történő kapcsolását hidraulikus munkahengerek (aktuátorok) végzik.



3.1.5. ábra Fokozatkapcsoló aktuátor DSG sebességváltóban [3,2]

A kettős munkahengerrel rendelkező kapcsoló villák a szinkronkapcsolók kapcsológyűrű hornyaiba nyúlnak be, és azokat tengelyirányban mozgatják. A fokozat bekapcsolását mágneses (Hall) helyzet jeladók jelzik. A pontos és nagy élettartamú, játéktelen megvezetésről lineáris golyóscsapágyak gondoskodnak.



3.1.6. ábra Visszakapcsolási folyamat idő-út és nyomás függvényei egy DSG sebességváltóban [3,2]

A felső szürke görbe ábrázolja a kikapcsoló 4. fokozat aktuátor elmozdulását. Alatta a fekete görbe a bekapcsoló 2. fokozat aktuátor elmozdulását mutatja. A vezérlési diagramot (nyomás) a két kapcsolóhoz az alsó vékonyabb vonalak ábrázolják. A szétválasztás egyszerű ugrási függvényekkel, az összekapcsolás többlépcsős betolással történik.

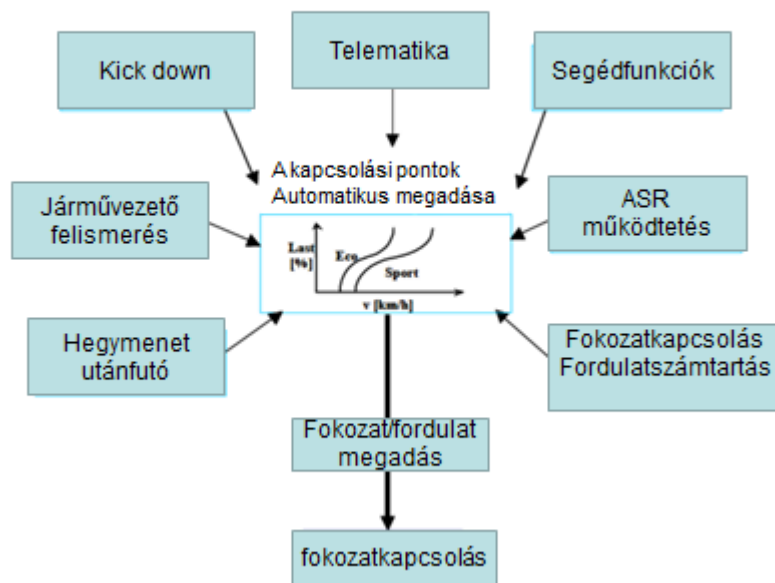
A DSG sebességváltók szabályzó rendszere integráltan irányítja a kettős tengelykapcsoló működtetését, a fokozatok kapcsolását, a sebességváltó hűtését és a váltó elemeinek kenését. A sebességváltó irányító rendszere elektronikus (hw és sw), villamos, hidraulikus és mechanikus elemekből áll.

### 3.2 A kapcsolási folyamat irányítása automatikusan működtetett sebességváltóknál

Az irányítás alapelemei: irányítási algoritmus, irányító szoftver, a szoftver futtatására alkalmas hardver, működtetés (beavatkozók).

A szabályzási algoritmus az alábbi elvi fokozatkapcsolási stratégián alapul

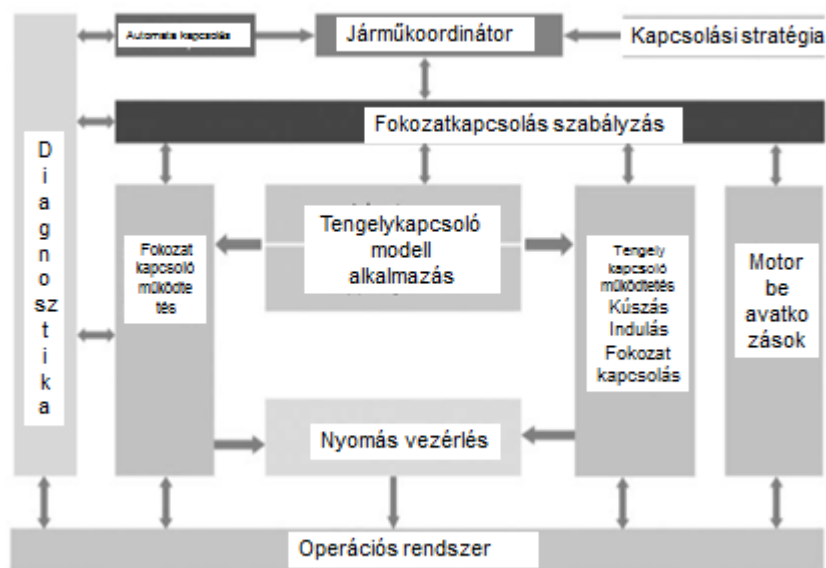




3.2.1. ábra A fokozatkapcsolás stratégiája automatikusan működtetett sebességváltóknál[3,3]

A kapcsolási stratégia függvényei a célzott vonóerő/motor nyomaték elérését jelentik a járműsebesség/motor fordulatszám függvényében. A stratégia kiválasztásához, amelynek alapján a sebességváltás idejének meghatározása történik a következő jellemzőket veszi figyelembe a kapcsolást irányító rendszer: a járműre ható külső terhelés (hegy menet, utánfutó), a járművezető vezetési jellemzői, kick down kapcsoló, telematika (külső logisztika, irányítás), különleges feladatok (haszonjármű esetén), ASR, motor fordulatszám korlátozás. A megfelelő célfüggvény kiválasztása után jelzi a rendszer a fokozatkapcsolás (motor fordulatszám) igényét és a végrehajtó (aktuátor) rendszer kapcsolja a fokozatot.

A fokozatkapcsolás figyelembe veszi a járművel kapcsolatos összes mérhető és kikövetkeztethető tényezőt természetesen rangsorolva és súlyozva. Az algoritmust leképező szoftver bemenete a kapcsolási stratégia.



3.2.2. ábra A sebességváltó irányítás szoftverének felépítése.

A szabályzási folyamat a kapcsolási stratégia szerint megy végbe. A kapcsolás shift by wire rendszere annyit jelent, hogy közvetlen mechanikus összeköttetés nincs a gépkocsivezető és a kapcsolt elemek között (még akkor sem, ha a rendszert tengelykapcsoló pedállal és kézi váltóval szerelten adják el!). A jármű koordinátor a járművel kapcsolatos szoftver modult jelképezi, az összes váltón kívüli járműjellemző feldolgozását jelenti. A központi vezérlő modul végzi a fokozatkapcsolás futtatását, ehhez kapcsolódnak a beavatkozás moduljai: a tengelykapcsolóba, a fokozatkapcsolásba illetve a motorba történő interaktív beavatkozások irányítása céljából. A tengelykapcsoló modellje központi szerepű, mind a fokozatkapcsolásban, mind pedig az ezen kívüli hajtási eseményekben is szerepet játszik. A diagnosztikai modul minden egységgel kétirányú kapcsolatban van, felügyeli a rendszer állapotát és szükség esetén vész üzemmódra állítja át. A végrehajtás elemei hidraulikusan működnek, ezeket a nyomás vezérlő rendszer irányítja. A hardverekhez kapcsolódó szoftver jelenti az operációs rendszert.

A szoftverek futtatása a kapcsolódó hardver rendszeren történik, amely több processzorból és elektronikai egységből áll. A járműhöz illetve ezzel a gépkocsivezetőhöz az elektronikai egység a kommunikációs rendszere(ke)n keresztül kapcsolódik. Ki és bemeneti egységein keresztül közvetlenül a jeladókhöz, aktuátorokhoz, kijelzőhöz és a járműdiagnosztikához (csatlakozó) kapcsolódik. A bemeneti jelek a következők: Tápfeszültség, gyújtásjel, tengelykapcsoló jeladó, fordulatszám jeladó, fokozati jeladó, nyomásjeladó, hőmérséklet jeladó. A kimenetek: jeladó táplálása, táp kimenet, tengelykapcsoló szelepek, kapcsolószelepek, választó szelepek. Az interaktív kapcsolatokat a CAN hálózatokra, a kezelő kijelző egységre és a diagnosztikai rendszerre való kapcsolódások jelentik.

A példaként választott DSG sebességváltóban az alábbi jeladók találhatóak:

- 5 db fordulatszám érzékelő Hall szenzor
- 1 db a sebességváltó bemenetnél,

- 2 db a tengelykapcsolók kimeneténél
  - 2 db a két sebességváltó kihajtó tengelyen
- 2 db nyomásszenzor (1-1 tengelykapcsolónként)

1 központi nyomásszenzor

2 olajhőmérsékletérzékelő

- 1 db szelepegység hőmérséklet
- 1 db a kifolyó olaj hőmérséklet mérésére a tengelykapcsolóknál

4 db kapcsolóvilla helyzetjeladó ( Halljeladó)

A sebességváltó a fokozatkapcsolás aktuátor rendszerét

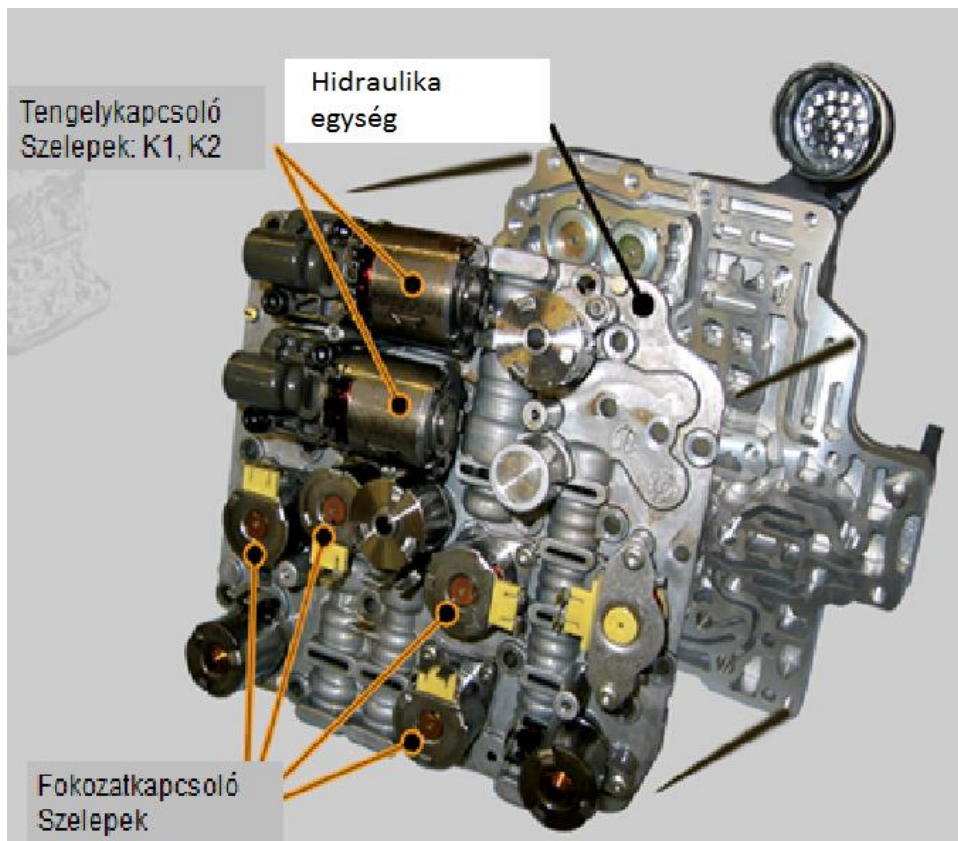
- 4 db villamosító kettős munkahenger
- 6 db nyomás korlátozó szelep
- 5 db kapcsolószelep képezi.

A mechatronikának nevezett egység rétegezetten tartalmazza az elektronikát, a villamos és a hidraulikus vezérlőelemeket.



3.2.3. ábra Az elektronikus rendszer (hardver) a mechatronikai egységre szerelve. [3,2]





3.2.4. ábra A mechatronikai egység hidraulikus vezérlő része. [3,2]

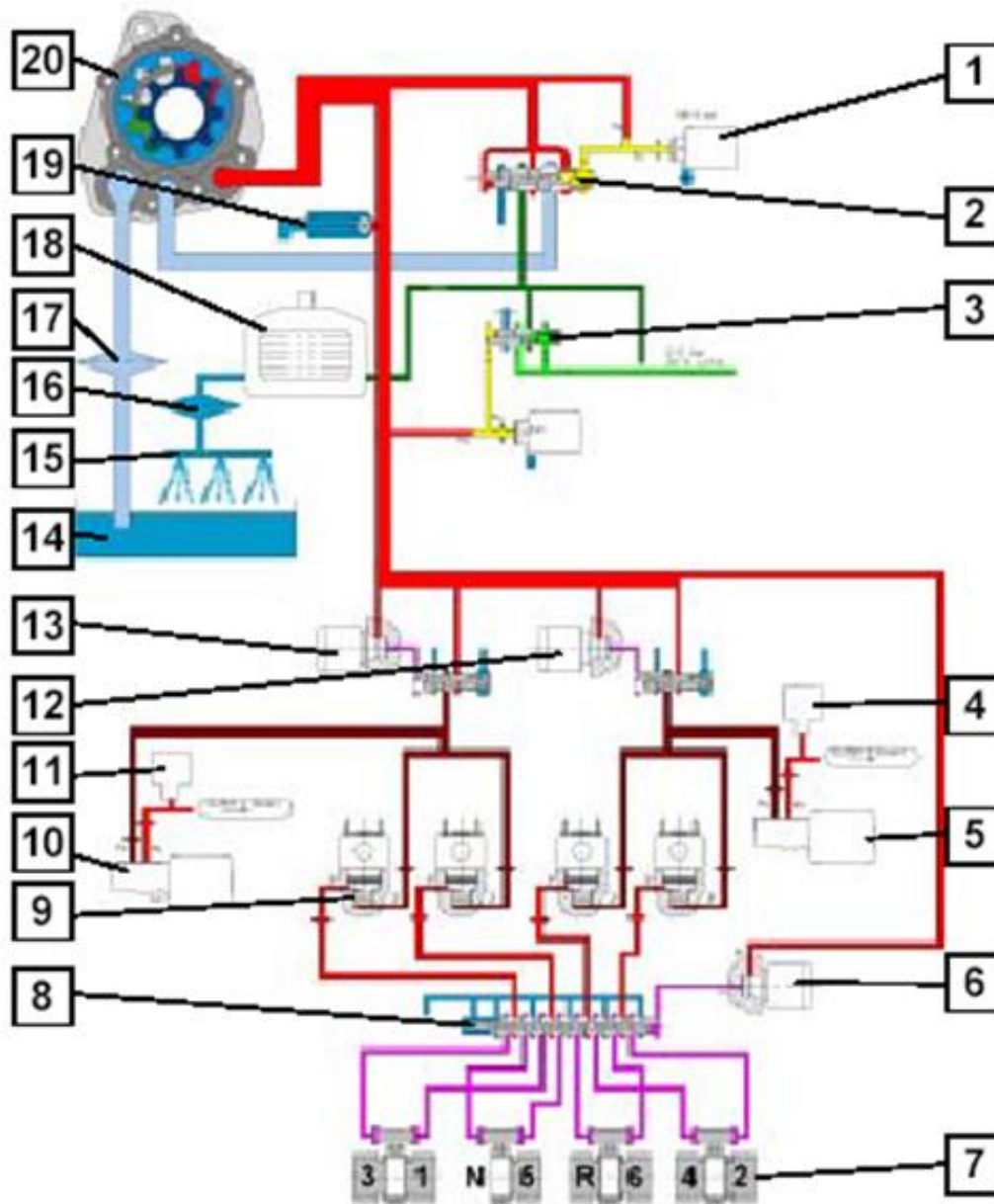
K1 és K2 a tengelykapcsolók vezérlő szelepei, a Schaltventil Gangsteller pedig a fokozatkapcsoló elektromágneses hidraulika szelepeket jelöli.

A kapcsolószelepek egy multiplexer nevű szeleprendszer segítségével két fokozatkapcsolására képesek.

A hidraulikus és elektronikus rendszer között villamos (nagy teljesítményű) elemek, főként PWM vezérlésű kapcsoló és nyomás szabályzó elektrohidraulikus szelepek vannak.

A hidraulikus rendszer részei:

A motor főtengelye állandóan hajtja a fogaskerekes hidraulika szivattyút (olajnyomás 0..20 bar olaj térfogat áram 15..90 l/min teljesítmény felvétel: 2,0 kW a legnagyobb motor fordulatszámnál)



3.2.5. ábra A DSG sebességváltó hidraulikus vezérlése [3,2]

A hidraulikus vezérlés vezérlőegységből , a szelepblokkból, és a csatornablokkból áll. Az összeköttetést a váltó és gépkocsi között egy 20 pólusú elektromos csatlakozó valósítja meg.

- 1 központi nyomásszabályzó szelep
- 2 központi nyomáselosztó
- 3 tengelykapcsoló hűtés elosztó
- 4 tengelykapcsoló nyomá szenzor
- 5 K2 tengelykapcsoló szabályzó szelep
- 6 mágnesszelep multiplexer
- 7 kapcsolóvilla-állító munkahengerek
- 8 fokozatválasztás tollattyú
- 9 villaállító szelepek 1-4
- 10 K1 tengelykapcsoló szabályzó szelep

- 11 tengelykapcsoló nyomásszenzor
- 12 biztonsági szelep 2
- 13 biztonsági szelep 1
- 14 olajteknő
- 15 olajzó szórófuratok
- 16 nyomóoldali olajszűrő
- 17 szívóoldali szűrő
- 18 váltóolaj hűtő
- 19 túlnyomásszelep
- 20 olajszivattyú

### 3.3. Az automatizált kapcsolású sebességváltó működtetése, használata

A gépkocsivezető a sebességváltás folyamatába az előválasztó karral és a gázpedállal tud közvetve beavatkozni.



3.3.1. ábra A sebességváltó használata az előválasztó karral [3,3]

A járműmodelltől függő a külső kapcsolhatóság: előválasztó kar automata és tiptronic állásban, illetve kapcsológombokkal a kormánykeréken kézi kapcsolással, H rendszerű kézi kapcsolású sebességváltó kar.

Automata üzemmódban D és S kapcsolóprogramok közül lehet választani (D normál, S sportos kapcsolás)-

„D“ fokozatban alacsonyabb a kapcsolási fordulatszám tartomány és mérsékelt tüzelőanyag felhasználás jelentkezik. Az ún. MVEG ciklus alatti (Motor Vehicle Emission Group) a fogyasztási értékek hasonlóak a normál kézi váltós gépkocsikhoz.

A Tiptronic annyit jelent, hogy a fokozat kapcsolás kézzel a sebességváltó kar le föl mozgásával történhet. Ekkor a vezető a karral a fokozatokat sorrendben le föl kapcsolgathatja mikrokapcsolók működtetésével. Egyes esetekben, ha többször billentjük a váltókart egymás után elvileg akár több fokozatot is kapcsolhat. A váltó szabályzó rendszer a kapcsoló működtetésre azonban csak egy fokozatkapcsolási kívánságot kap, a kapcsolást a

szabályzó rendszer végzi, a vezető hibás vagy veszélyes működéshez vezető szándékát felülbírálja.

Kickdown lenyomás esetén a gázpedál állás a CAN-en keresztül „S“ programba kapcsol.

Creep-Szabályozás (kúszás szabályozás)

Segíti a manőverezést pl. emelkedőnél, anélkül hogy a gázpedált működtetjük.

A funkció kihasználja hogy alapljáraton, bekapcsolt sebességnél az átvitt csúsztatási nyomatékokot egy adott értékre kell szabályozni, hasonlóan, mint a bolygóműves, hidraulikatengelykapcsolós váltónál.

A tengelykapcsoló nyomás célirányos illesztésével a meghajtó nyomatékokot kúszási szinten tartják.

Álló gépkocsinál, megnyomott fékpedálnál, a komfort, üzemanyagfogyasztás, akusztika és környezeti terhelés javítása érdekében a tengelykapcsolókat nyitásra vezérlik.

Hillholder funkció: megtartás szabályozás

Ha a gépkocsi emelkedőnél, elégtelenül megnyomott fékpedálnál visszagurul, az egyik tengelykapcsolón automatikusan megnövelt nyomás következtében a jármű állva marad.

Diagnosztika

Hibakijelzés

3 fő hibaállapotot különböztetünk meg a váltó működése illetve az utazási biztonság befolyásolása függvényében.  
A vezető az üzemzavarról a műszerfal kijelzőjén értesül.

1-es hibaállapot:

A hiba letárolásra kerül és egy korlátozott üzem indul.

A vezető a hibát nagy valószínűséggel nem észleli, mert az utazási biztonságot illetően nem kritikus.

2-es hibaállapot

A hiba letárolásra kerül és korlátozott üzem indul.

A kijelző figyelmezteti a vezetőt, hogy hiba keletkezett.

Ez az állapot az utazási biztonságot illetően már kritikus!

3-as hibaállapot

A hiba letárolásra kerül és egy vészüzemmód indul.

A kijelző villog!

Utazási biztonságot illetően kritikus!

„NOT“ üzemmód (vészfürési üzem)

Amennyiben az egyik részváltó funkcióprobléma miatt lekapcsol, a másik váltó egységen keresztül egy ún. „vészfürési“ üzemmód indul.

Ebben az állapotban érezhető vonóerőmegszakítások tapasztalhatóak.

Az egyik részváltó kapcsolja az 1. és 3. sebességet.

A másik részváltó kapcsolja a 2. sebességet.

Hátramenet nem lehetséges



**3.3.2. ábra Száraz tengelykapcsolóval rendelkező DSG sebességváltó [3,3]**

A száraz tengelykapcsoló részint a korábbiakban márt írtak szerint energiatakarékosabb megoldás, mert a nyomaték átvitelhez szükséges normál erőt rugó hozza létre, másrészt a járművek indításánál és a fokozatkapcsolásnál a többi sebességváltóban jól bevált szerkezetet, annak elemeit itt is érdemes felhasználni. A fogaskerekes sebességváltó részének alapelvei egyeznek a korábban ismertetett váltóéval.

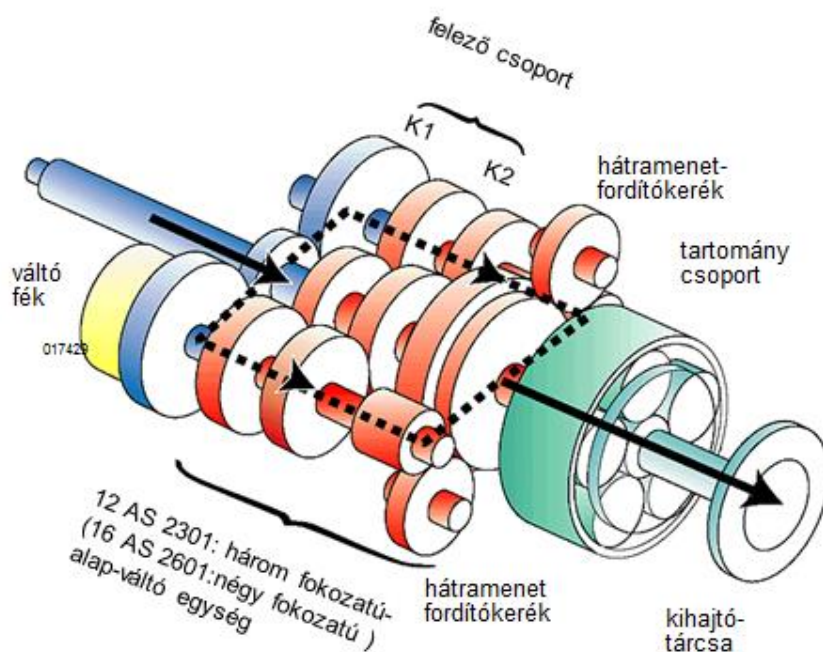
### **3.4. Tehergépkocsi automatizált sebességváltójának mechatronikai rendszere**

Tehergépkocsik sebességváltói nem csak méretükben, fokozatszámban különböznek a személygépkocsikétól, hanem a felépítési szerkezetben is. A személygépkocsiktól eltérő használati feltételek, a gyártási példányszám valamint a fejlesztés történet a konstrukcióban is jelentős különbségeket eredményezett.

A haszonjárműveknél is léteznek kézi, automatizált kapcsolású és teljesen automata váltók. A kézi kapcsolású váltókban a mechatronika korlátozott szerepet játszik. Egyes típusokban működnek egyszerű mechatronikus elemek, de az igazi terepet az ilyen szerkezetek számára az automata és automatizált váltók jelentik.

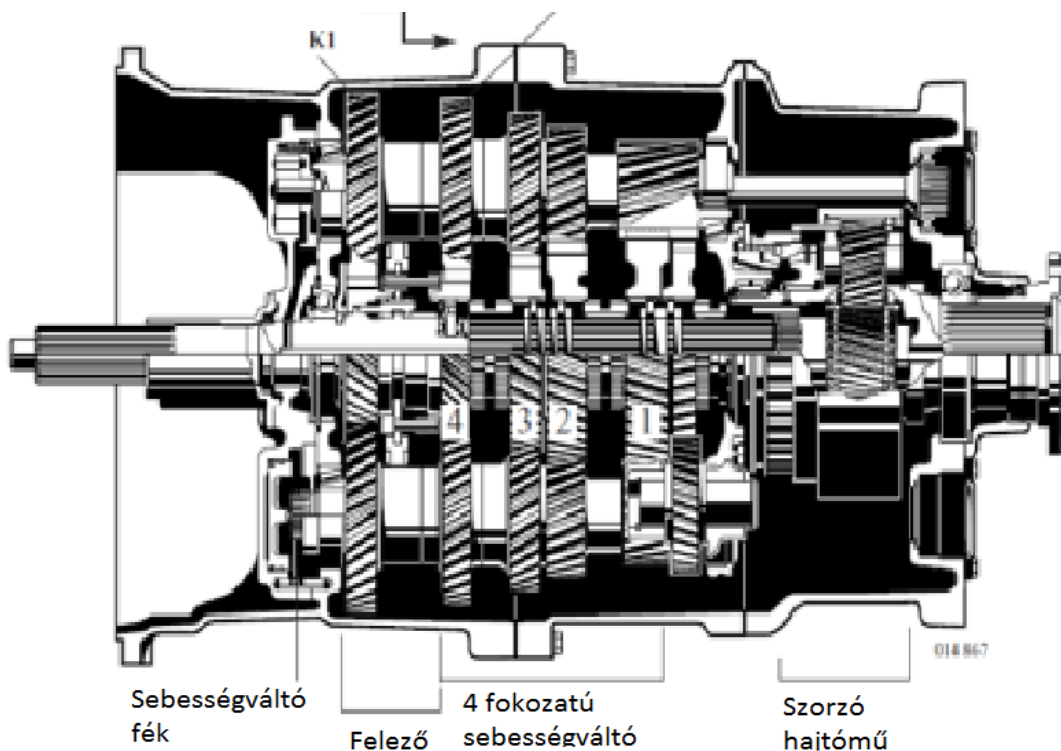
Automatizált kapcsolású sebességváltó a ZF Astronic hajtómű család. Mechanikai felépítését tekintve rendkívül egyszerű: száraz súrlódó tengelykapcsoló és egy előtettengelyes sebességváltó felező előtét illetve szorzó utó hajtóművel.





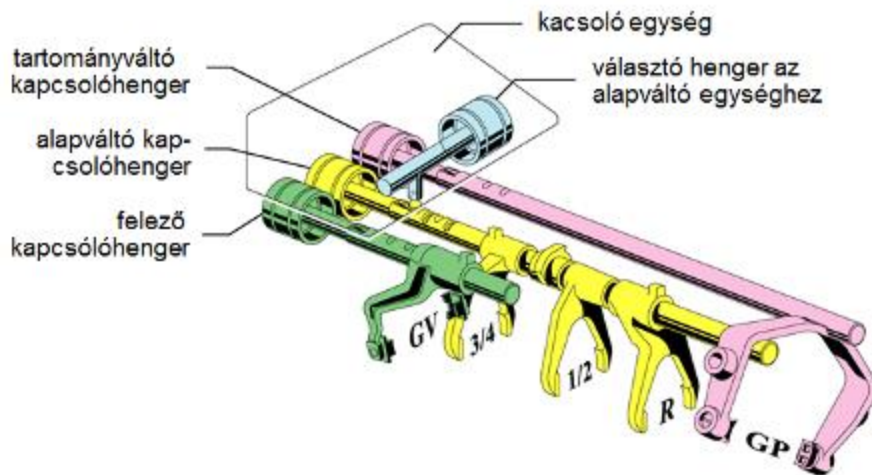
3.4.1. ábra Automatizált kapcsolású tehergépkocsi sebességváltó felépítése [3,6]

A kék színű tengely a tengelykapcsoló súrlódó tárcsa nyeles tengelye, amihez a két fokozatú primer áttételt adó felező csoport kapcsolódik. Az alapváltó piros, két előtét tengellyel rendelkezik a nagyobb terhelhetőség és élettartam érdekében. A zöld bolygóműves szorzómű napkereke az alapváltó kihajtó tengelyén van a koszorúkerék fékezhető.



3.4.2. ábra Automatizált kapcsolású tehergépkocsi sebességváltó metszeti rajza [2,5]

A váltó metszeti rajzán látszanak a kapcsoló szerkezetek szinkronizálva az előtét és szorzóműnél, szinkron nélküli bordás gyűrűk a fő (középső) váltó résznél.



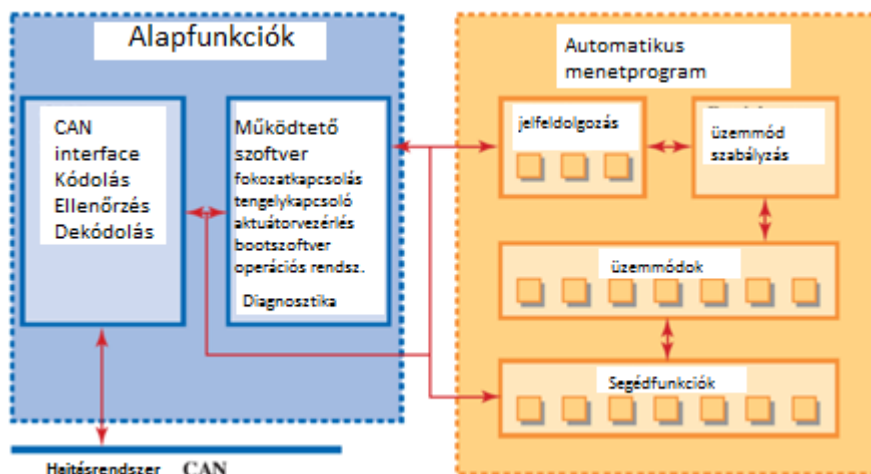
3.4.3. ábra Tehergépkocsi sebességváltó kapcsoló egység [3,6]

A fokozatok kapcsolását a kapcsolóegység végzi pneumatikus munkahengerek segítségével. A felező- és a szorzó váltó működtetését egy-egy különálló kapcsolóhenger hajtja végre. A váltó felső részében lévő kapcsolóegységben integrált a sebességváltó elektronika, a „kapcsolás”, „előválasztás”, és a „váltófék” működtető szelepek, a kapcsolóhengerek, fordulatszám, nyomás, stb. jeladók, a nyomáskorlátozó szelep, az elektromos és pneumatikus csatlakozások.

Az alapváltó körmösnek nevezett (igazából bordás) kapcsolású (nem szinkronizált), a felező és a tartományváltó szinkronizált kapcsolásúak. A fogaskerekek magas teljesítményű ferdefogazással rendelkeznek.

A sebességváltó főbb jellemzői:

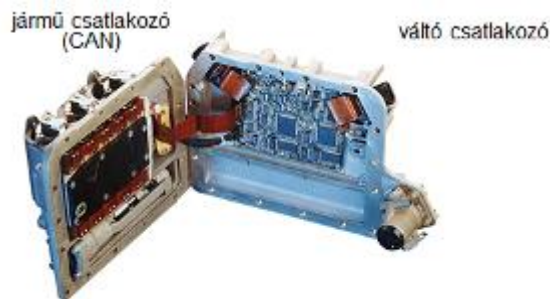
- egytárcsás száraz tengelykapcsoló központi olajszivattyús kenés egy központi kábelköteg az összes építési egység teljes integrációja alacsony üzemi hőmérséklet a részegységek élettartam növelése érdekében automatikus sebességváltó funkciók a gyorsabb kapcsolásért, terhelési csúcsok nélküli kapcsolások a hajtáslánc kímélése érdekében
- rángatás mentes kapcsolási átmenetek a szabályozott tengelykapcsoló működtetés segítségével a kijelzőn megjelenő információk a tengelykapcsoló túlterhelése és a szükséges tengelykapcsoló csere esetén fedélzeti diagnosztika: a rendszer felismeri a zavarokat, megjeleníti a kijelzőn és egyidejűleg aktiválja a vészüzem programokat a továbbhaladás biztosítása érdekében egyszerű hibakeresés közvetlenül a járműben a rendszerbe beépített hibatároló és diagnosztikai egység által



3.4.4. ábra Az elektronikus irányítási szoftver rendszer felépítése [2,5]

A fenti szoftver struktúra a ZFASTRONIC szabályzó rendszer szoftver felépítését mutatja. A két fő részből álló informatikai rendszer funkcionális alapeleme CAN interfészből és egy működtető programból áll. A működtetés elemei: fokozatkapcsolás irányítás, tengelykapcsoló működtetés, diagnosztika, az aktuátorok vezérlése, boot szoftver, fenntartó rendszer. Az alaprendszerhez tartozik az összes szükséges jel fogadása és feldolgozása. Az út, fordulatszám, nyomás, hőmérséklet jeladók, illetve a külső jeladók jeleinek fogadását jelenti közvetlenül illetve a CAN hálózaton keresztül.

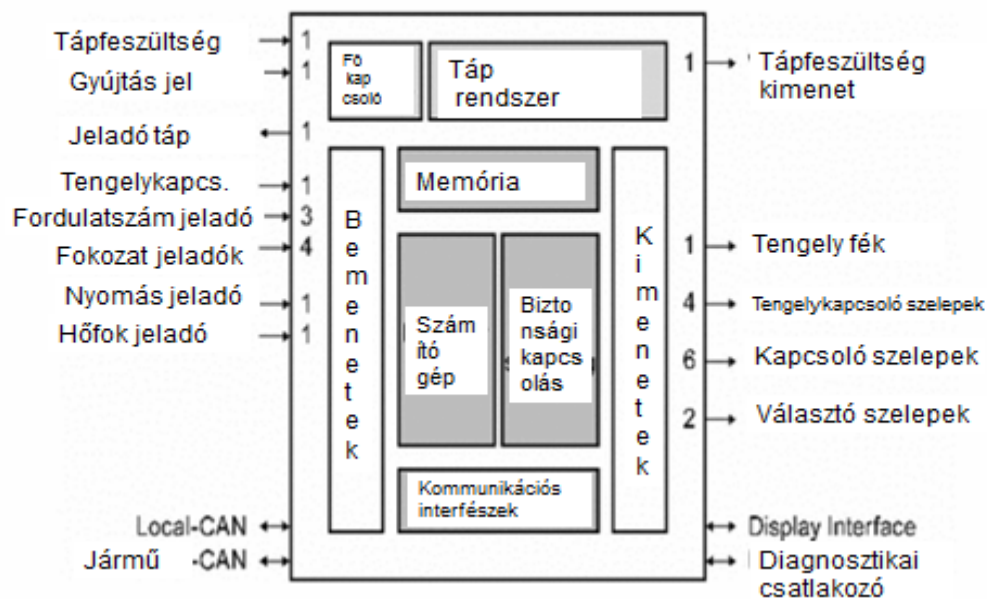
A másik rész az automatikus menetprogram fő blokkjai: jelfeldolgozás, a különböző üzemmódok irányítása, üzemmódok és kiegészítő funkciók.



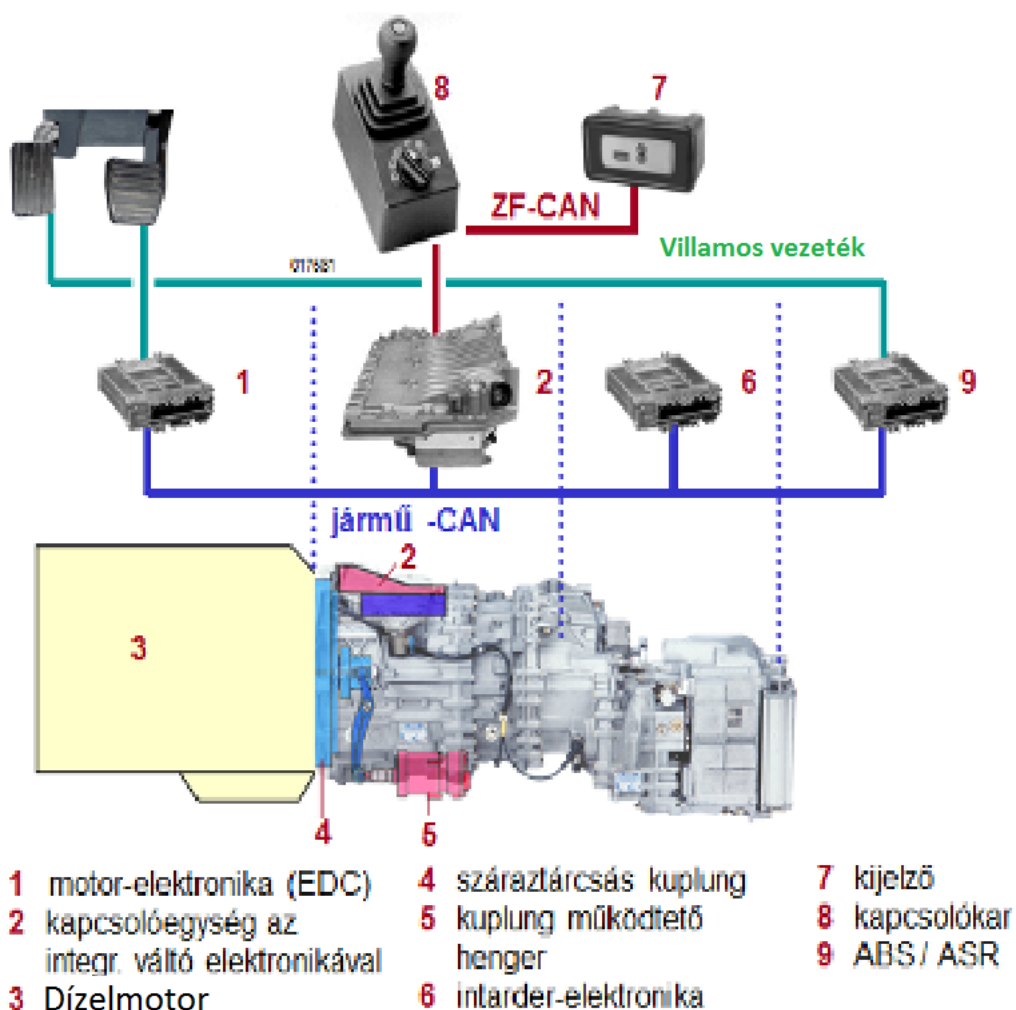
3.4.5. ábra A sebességváltó elektronikus egysége [3,6]

Az elektronikus egységben a két szoftver blokk fizikailag is el van különítve önálló hardverelemeken.

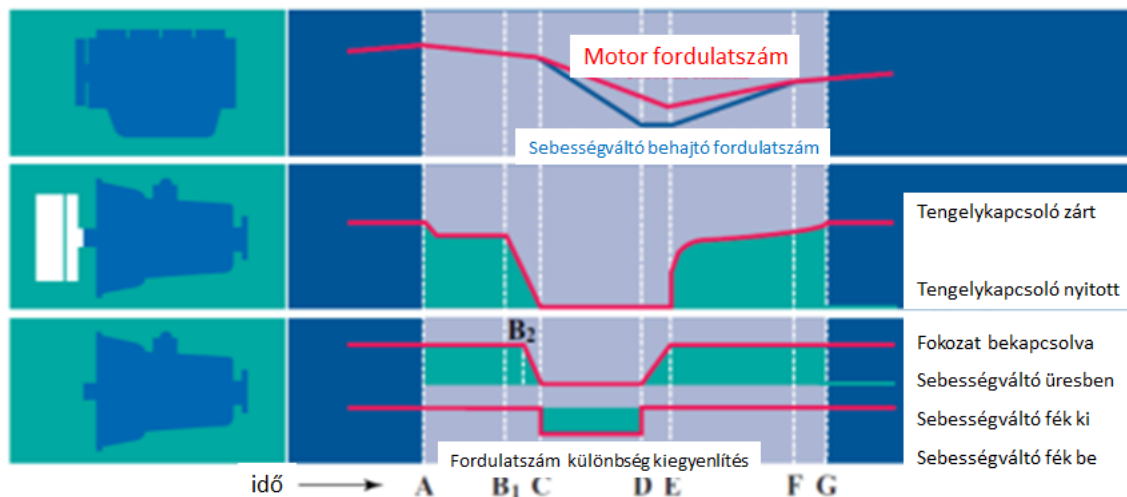




3.4.6. ábra A hardver szerkezeti felépítése [3,6]



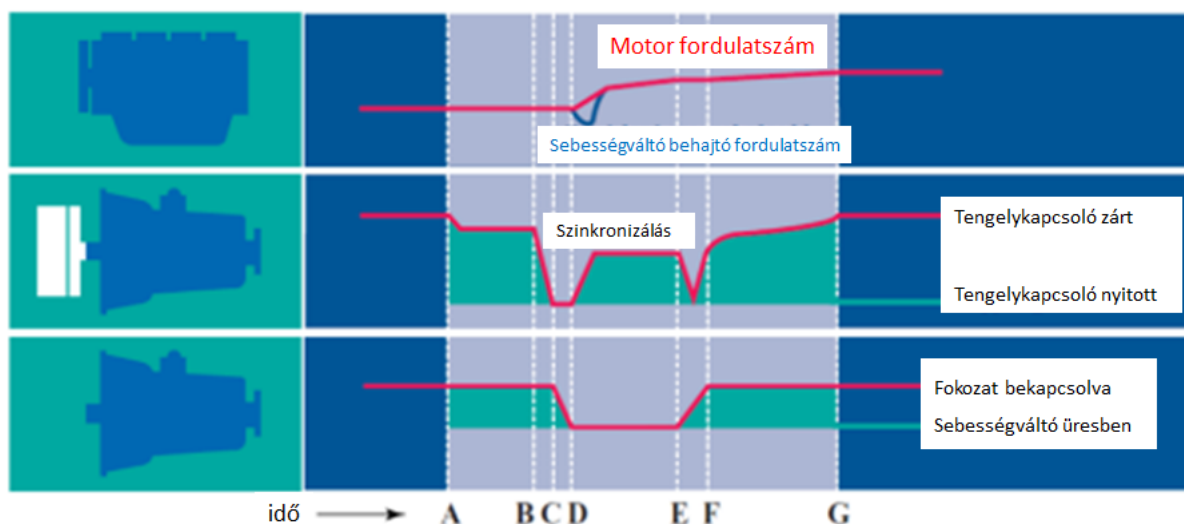




3.4.9. ábra A felkapcsolás folyamata az idő függvényében. [3,6]

A diagramok a motor (piros vonal) és a sebességváltó behajtó (kék vonal) fordulatszámát mutatják. A középső ábrán a zöld mező annyit jelent, hogy a tengelykapcsoló zárt. Az alsó ábrán fölül a zöld mező annyit jelent, hogy sebességben van a váltó, az alsó részen pedig annyit, hogy az előtéttengely fék bekapcsolt állapotban van.

Az A-B1 szakaszban a tengelykapcsoló részleges old és a motor befecskendezési dózis csökken. A B1-C szakasz során a tengelykapcsoló old. A B2-C szakaszban a kapcsolószerkezet oldja az aktuális fokozatot. C-D szakaszban be van kapcsolva a tengelyfék, hogy szinkronizálja a kapcsolandó bordás elemeket. D időpontban kapcsol ki a tengelyfék, amikor minimális fordulatszám különbséget számol a rendszer a két kapcsolandó elem között. A D-E szakasz során kapcsolja be a rendszer a következő fokozatot. E-F szakaszban kezd zárni a tengelykapcsoló az előírt nyomaték függvény alapján. F-G a tengelykapcsoló zárásával a kapcsolás befejeződik.

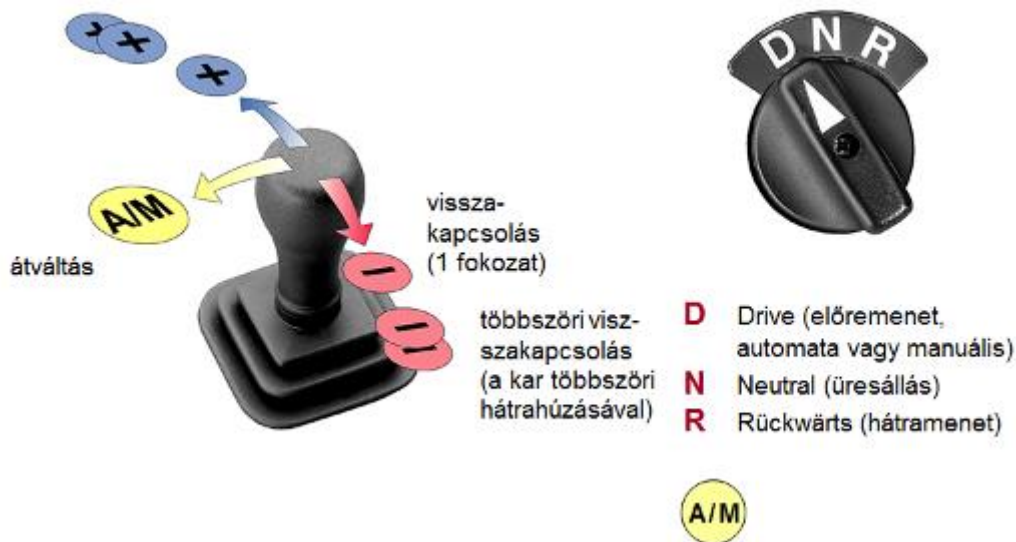


3.4.10. ábra A visszakapcsolás folyamata az idő függvényében. [3,6]

Visszakapcsolási folyamatnál a kapcsolás a következő: A-B szakaszban részben nyit a tengelykapcsoló és gázvétél történik. B-C idő alatt a tengelykapcsoló gyorsan nyit. C-D szakaszban kapcsolja ki az aktuális fokozatot. D ponton jelenti a jeladó a kikapcsolt állapotot.

D-E szakaszban a tengelykapcsoló részlegesen zár és részleges gázadás történik (gázfröccs), a kapcsolandó elemeket a motor felpörgeti. E-F szakaszban, érzékeli a rendszer a szinkron fordulatszámot és kinyomja a tengelykapcsolót, kapcsolja a következő fokozatot. F-G a kívánt nyomaték függvénynek megfelelően záródik a tengelykapcsoló.

A rendszer tehát a tengely fordulatszámok és az áttételek alapján meghatározza, hogy mikor forognak együtt a kapcsolandó bordás elemek és a kapcsolást ekkor hajtja végre a pneumatikus munkahengerekkel.



3.4.11. ábra A kezelőszervek:kapcsolókar és előválasztó gomb [3,6]

A működtető kar joy-stick-ként használható. Jobbra-balra választható a kézi illetve automatikus üzemmód, előre-hátra pedig kézi üzemmódban szekvenciálisan kapcsolhatók a fokozatok.

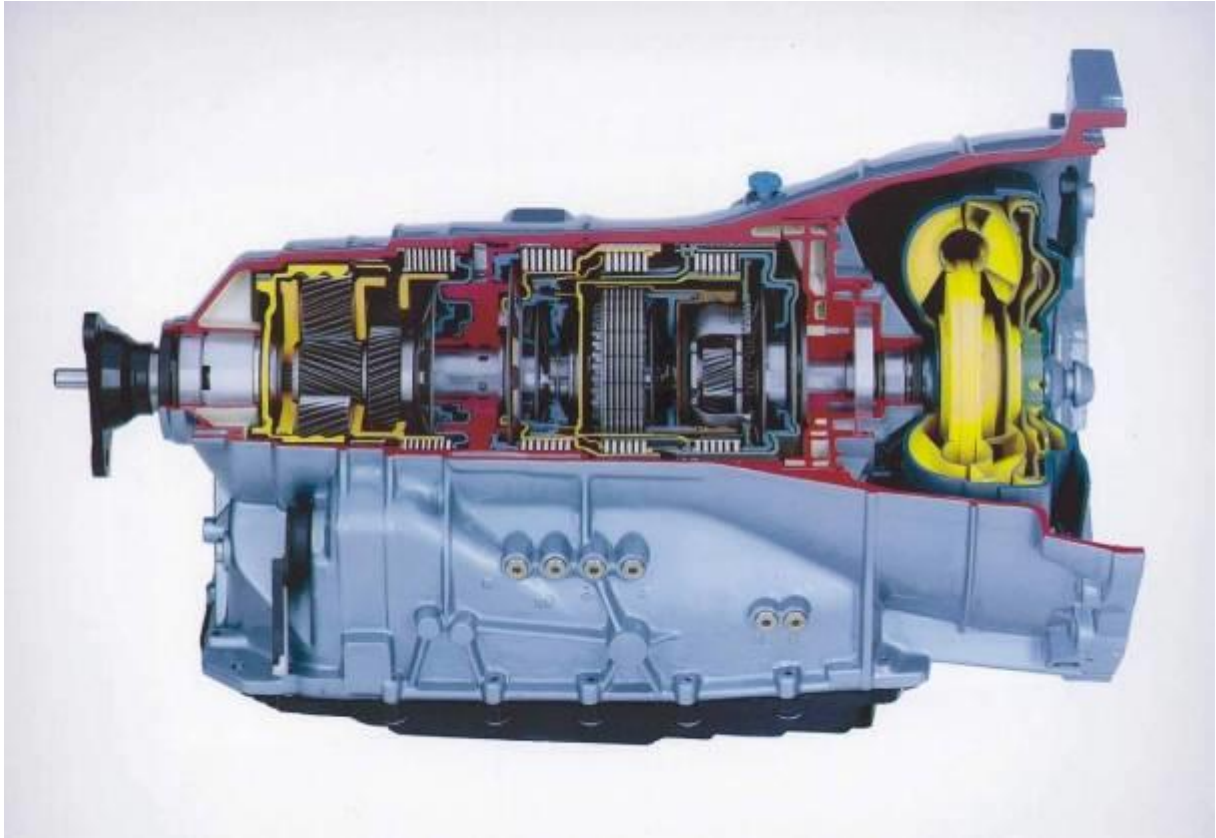
Az automata üzemmód egy forgató gombbal állítható D drive=automata, R reverse=hátramenet illetve N neutral=fokozat nincs bekapcsolva állásba.

A kijelző informálja a vezetőt:

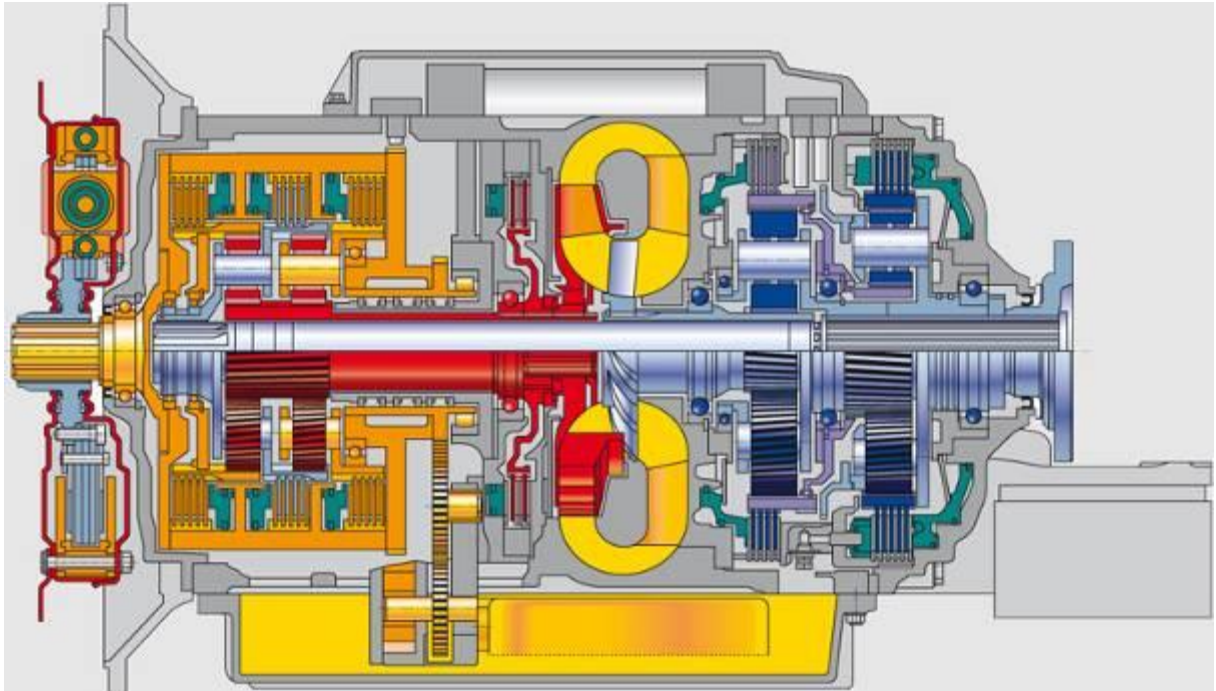
- üzemállapotról (üzemmód, aktuális fokozat)
- figyelmeztető jelzésekről
- a rendszerben létrejött működési zavarokról

### 3.5. Az automata sebességváltók mechatronikája

Az eddigiekhez képest az automata sebességváltók a felhasználó szempontjából csaknem azonosan működnek, de felépítésük markánsan eltér ezektől. Általános felépítésük leginkább soros elrendezésű, csak néhány váltó típusnál (főként haszonjárműveknél) ettől eltérő ún. átkötött rendszerű. Az elrendezés a váltókban lévő hidrodinamikus nyomatékúváltó és a kapcsolódó bolygóművek közötti viszonyra utal. A soros váltók a motorhoz Trilok típusú nyomatékúváltóval kapcsolódnak, majd ezt követi a többfokozatú bolygómű. Az átkötött nyomatékúváltóknál a hidrodinamikus gép a bolygómű egyes tengelyeit köti össze, teljesítmény elágazást megvalósítva.



3.5.1. ábra Soros hidromechanikus automata sebességváltó [2,5]



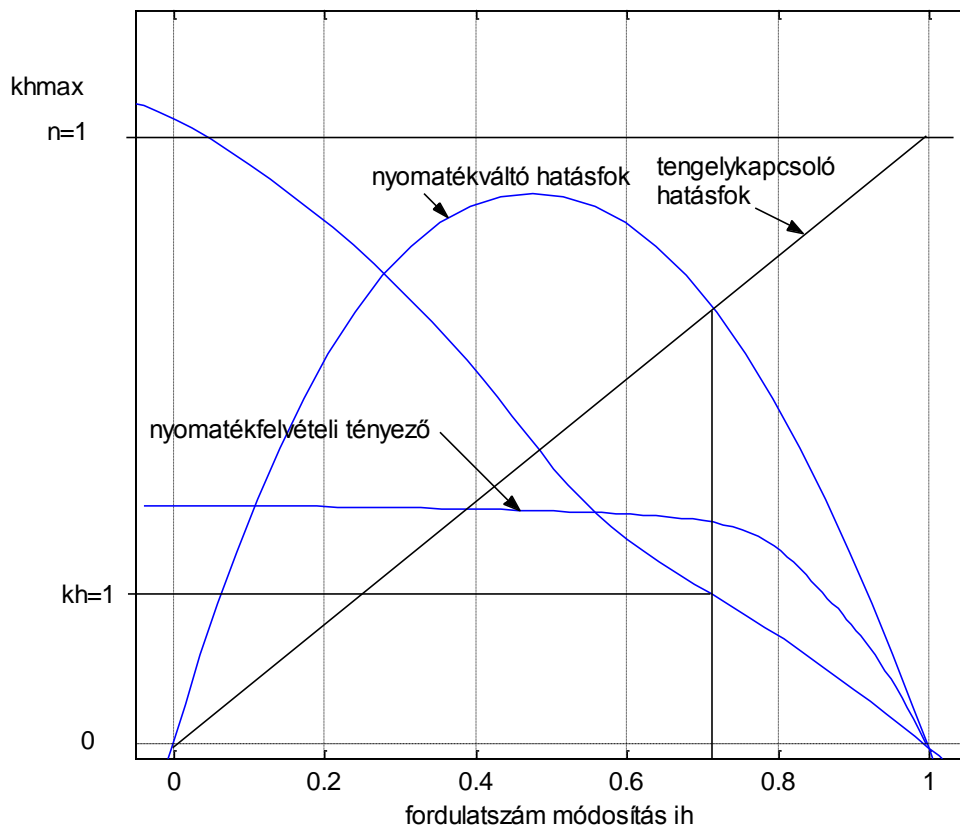
3.5.2. ábra Átkötött hidromechanikus nyomatékvtó

Bár a két váltótípus jelentős mértékben eltér a felépítésben, vezérlési , fokozatkapcsolási elveik alapvetően azonosak az indítástól eltekintve nagyrészt megegyeznek az előzőekben tárgyalt automatizált kapcsolású homlok fogaskerekes sebességváltókkal.



Az automata sebességváltók lassan, evolúciós jelleggel fejlődtek az egyszerű járművezethetőség embertől lehetőleg függetlenítése és az adaptív fokozatkapcsolás között. Ebbe a folyamatba robbant be az automatizált váltó, leginkább annak DSG változata, amely a legújabb elvek szerinti mechatronizálással jelent meg. Mindkét váltó fajta jelen van az autózásban, a DSG váltó kétségtelen piaci előnyei pedig várhatóan ezt a fajtát fogják elterjedtebbé tenni.

Az indítás feladatait az automata váltóknál nem súrlódáson alapuló, hanem hidrodinamikusan végzik. Ezek az indítást teljesen automatikusan, mindenféle beavatkozás nélkül tudják megvalósítani, mégpedig jelentős tartományban kedvezőbb hatásfokkal a súrlódó gépeknél. A hidrodinamikusan működő váltó előnyeit és használhatóságát a gyakorlat jól bizonyította. Fizikai állapotjellemzőit tekintve a használatos jellegzői alapján kaphatunk róla képet.

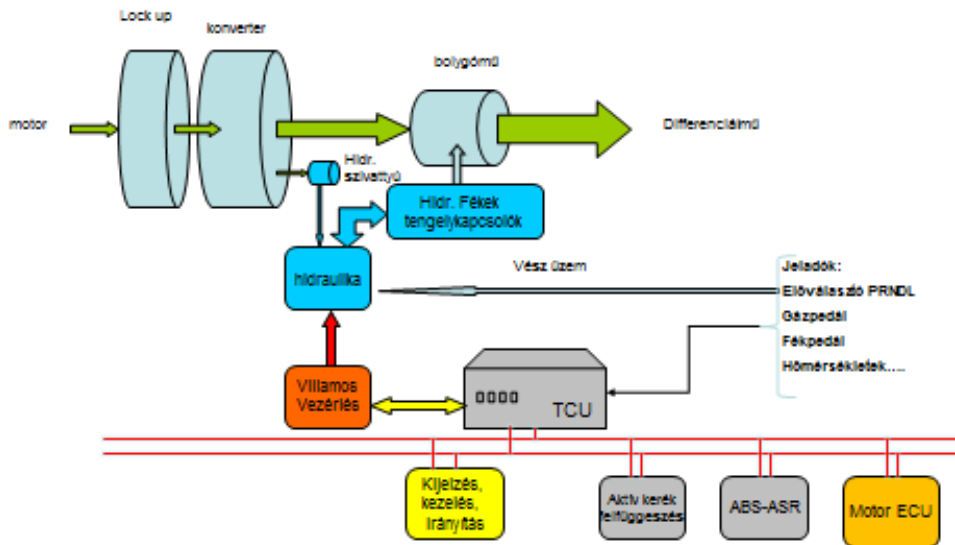


3.5.3. ábra Hidrodinamikusan működő váltó külső jellegzője

$kh$  a nyomatékmódosítási tényező (kihajtó és behajtó nyomaték hányadosa)

Az ábra alapján megállapítható, hogy két nagy előnye van a súrlódó aszinkron gépnek képest: a hatásfoka nagy szlip tartományban jobb, és nyomatékot növel a hidrodinamikusan működő váltó. A kisebb szlipnél jelentkező hatásfok romlást a vezetőkerékbe épített szabadonfutóval lehet megszüntetni, amely tengelykapcsoló üzemre állítja át a nyomatékváltót (automatikusan, minden beavatkozás nélkül). A hidrodinamikusan működő váltóra csak indításkor van szükség, ezért a jobb (közel 100%-os) hatásfok érdekében a nyomatékváltót áthidalják egy hidraulikusan működtetett tengelykapcsolóval (lock up) az aszinkronitást nem igénylő fokozatokban.





3.5.4. ábra Adaptív működtetésre képes automata sebességváltó szabályzás



3.5.4. ábra Lock up tengelykapcsoló [3,7]

Az adaptív kapcsolást a sebességváltásnak a vezető beavatkozása nélküli működtetését jelenti. A sebességfokozat kiválasztása automatikusan történik a gépkocsi sebességétől, a gázpedál pozíciójától és a választókar állásától függően, alkalmazkodva a vezetési stílushoz, az út

jellegéhez, a domborzati és időjárási körülményekhez, a forgalmi viszonyokhoz. Az adaptív vezérlés a sebességváltó szabályzójába (TCU) közvetlenül bekerülő jeleken kívül felhasználja az összes jármű jellemzőt és adatot, amelyet a többi elektronikus egységtől (ECU-k) a kommunikációs rendszere(ke)n (CAN-BUS) kap meg. A jeleket kiértékelve számítja ki, hogy melyik fokozatban üzemeljen a sebességváltó. A fokozatszám akár 8 is lehet, tehát a fokozat meghatározása különösen a szélsőséges menethelyzetekben kritikus döntést jelent. A TCU által kivezérelt jelek a villamos vezérlő egységbe kerülnek, amelyek jórészt elektromágneses szelepeket és egyéb villamosan működtetett hidraulikus elemeket jelentenek. A hidraulikus rendszer vezérli a végrehajtó egységeket, amelyek általában lamellás szerkezetek beépített munkahengerrel. Ezek fékezik a bolygóműveket, kötik össze – kapcsolják szét tengelyeiket, zárják - nyitják a lock up (a hidrodinamikus nyomatékvtó rövidrezáró) tengelykapcsolót. A fékek, tengelykapcsolók működtetése, hasonlóan a DSG váltókhoz, gázelvétel nélkül, a nyomaték átvitel megtartásával történik. Ilyenkor a súrlódó elemek rövid időre egyszerre csúsznak, amely nagy igénybevételt jelent a súrlódó lamelláknak. A gépkocsivezető az előválasztó karral és a gázpedállal tudja befolyásolni a fokozatkapcsolás menetét. A PRND szelektornak is nevezett kar a különböző üzemállapotokat (Parkolás=rögzített kihajtó tengely, motor indítható, Reverse=hátramenet, N=neutral, sebességfokozat nincs bekapcsolva, motor indítható, D=Drive, automata üzem mód) határozza meg a váltó számára. A gázpedál lenyomásával a felkapcsolás sebesség értéke növelhető, illetve a gázpedál ütközésig nyomásával (kick down) visszkapcsolás kényszeríthető ki. Villamos vagy elektronikus hiba esetén a folyamatosan működő diagnosztikai rendszer átállíthatja a rendszert vész üzemmódra. Ilyen esetben a váltó az előválasztó karral vezérelhető, mert a hidraulikus rendszer önállóan (villamosság nélkül) is működőképes. Bár az adaptív kapcsolás az automata váltóknál fejlődött ki, ennek gyakorlata ugyanilyen formában a DSG és bármely más automatizált kapcsolású sebességváltónál is használható.

A hibakereső és értékelő öndiagnosztika (OBD) lényeges és igen hasznos része az elektronikus hajtóművezérlésnek. A diagnosztikai rendszerek kezelésének módja az egyes gyártóknál más és más, rendszerint speciális diagnosztikai célműszert és megfelelő szoftvert igényel. A diagnosztikai rendszer kijelzi a működés hibáit, azokat tárolja és a későbbi hibaelhárításban aktívan felhasználja. A hiba kiolvasás és elhárítás a diagnosztika csatlakozóra kötött kiolvasó műszerrel történik.

A sebességváltók fejlődése az automatikus fokozatkapcsolás jelentősebb elterjedése felé irányul. A kapcsolási folyamat lényege, irányítása mindegyik váltó és járműtípusnál azonos. A számítógépes rendszerekkel irányított jármű sebességváltója könnyen képessé tehető az adaptív sebességváltó működtetésre, ami megalapozhatja az intelligens járműhajtás kifejlesztését és elterjesztését.

[3,1] [http://vwisb7.vkw.tu-dresden.de/TrafficForum/vwt\\_2001/beitraege/VWT18proceedings\\_pages601-618.pdf](http://vwisb7.vkw.tu-dresden.de/TrafficForum/vwt_2001/beitraege/VWT18proceedings_pages601-618.pdf)

[3,2] <http://www.volkswagen.com.my/en/innovation/Innovations/powertrain/dsg-6.html>

[3,3] Seoul 2000 FISITA World Automotive Congress June 12-15, 2000, Seoul, Korea F2000A101A Study on Full Electronic Control of Automatic Transmission : Direct Active Shift Control Baek-Hyun Cho\*, Hyoun-Woo Lee, Jong-Sun Oh1), Gyu-Hong Jung2), Kyo-II Lee3)

[3,4] Technisches Handbuch ZF Astronic

[3,5] VWDSG.PDF815.1245.12.01.

[3,6] ZF ASTRONIC PB 003 1328 763001 b

[3,7] kuplungviaweb.blogspot.hu

## **4. Tervezési lépések és modellezési eljárások**

### **4.1. Hajtáslánc dinamikai modellezése a tengelykapcsoló működése szempontjából**

Ebben a fejezetben áttekintést nyújtunk a hajtásláncok, ill. különös tekintettel a tengelykapcsolók tervezési folyamata során alkalmazott dinamikai modellezési és szimulációs eljárásokról. A fejezet célja az általános kép kialakítása, ezért közel sem törekedtünk teljességre sem pedig szigorú formalitásra.

#### 4.1.1. A fizikai modellek megalkotásának és alkalmazásának általános szempontjai

A fizikai modellek megalkotása és alkalmazása a tervezési feladatok során több lépésből álló feladat. Ezek a lépések röviden a következőképpen foglalhatók össze:

1. A probléma felvetése (megfogalmazása)
2. A probléma absztrakciója
3. A modell matematikai megfogalmazása
4. A modell alkalmazása
5. A kapott eredmények összevetése a valósággal

Ezek között a lépések között sorrendi kapcsolat található ezért mindegyikük azonos jelentőségű a modellezési feladat megoldása során.

Első lépésként meg kell fogalmazni a problémát. Ez sok esetben annak a tervezési feladatnak a sajátjaiból adódik, amelyiknek a támogatásához modellt akarunk készíteni (pl. a feladatkitűzés eleve formális műszaki specifikáció által történik), ez azonban nem minden esetben nyilvánvaló. A feladat megfogalmazásakor meg kell határozni a tervezés (modellezés) célját, és fel kell felmérni a kiindulási információkat (pl. műszaki követelmények, szabványok, stb.).

A megfelelően megfogalmazott problémától el kell vonatkoztatnunk ahhoz, hogy modellt tudjunk építeni a probléma megoldásához. Az elvonatkoztatás célja, hogy a probléma számos tulajdonsága közül azokat emeljük ki, amelyek a modellezni kívánt jelenség szempontjából fontosak. Ez a folyamat mindig függ az adott feladat kitűzésétől, eltérő célok eltérő absztrakciót igényelnek.

Az absztrakt modellt meg kell fogalmaznunk matematikai formában, mivel a modellvizsgálat eredményeként számszerűsített jellemzőket kell kapnunk a fizikai folyamatról. A modell matematikai megfogalmazása különböző megközelítések szerint történhet, azonban a

vizsgálandó problémák (hajtáslánc-modellezés) szempontjából jellemző az absztrakt fizikai modellre épülő, ún. white box megközelítés.

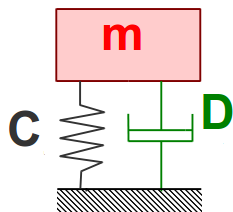
A modell alkalmazása a matematikai modellen végzett kísérletet jelent. Ez jellemzően valamilyen, a matematikai modellt magában foglaló szimuláció elvégzése. Fontos, hogy ez nem csak egyszeri alkalmazást jelent, mivel a szimuláció többször is elvégezhető és a kapott eredmények, ill. az újabb felmerülő problémák alapján többször el is kell végezni (másképpen: fejlesztési iteráció).

Végezetül a modell eredményeit össze kell vetni a valóságos tapasztalatokkal (pl. mérési eredményekkel). Ezzel az összevetéssel meghatározható, hogy a modell milyen pontossággal írja le a valóságot, ill. hogy a modell által tett előrejelzések igazak lesznek-e a modell érvényességi tartományán belül (validáció) [4,1].

#### 4.1.2. Dinamikai modellek megvalósítása lengőrendszerek csatolt modelljeivel

A gépjárművek és a gépjármű-alrendszerek mozgásának vizsgálata általában valamilyen dinamikai probléma vizsgálatára vezethető vissza. Ezeknek a dinamikai problémáknak az elemi építőegysége jellemzően az ún. egyszabadságfokú, vagy egytömegű lengőrendszer\*, ami egy tömegpontoszerűen kezelt test (tömeg) és a testet egy másik testtel összekötő rugó és lengéscsillapító együttes, absztrakt modellje.

\*Megj.: a lengőrendszer ennek az absztrakt fizikai modellnek csupán a megnevezése, amiből nem következik, hogy egy ilyen rendszer minden üzemi körülmények között periodikus mozgást (lengést) végez.



4.1.1. ábra Egytömegű lengőrendszer modellje

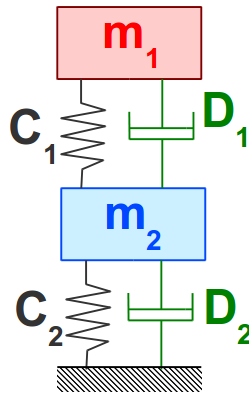
Feltéve, hogy a vizsgált egytömegű lengőrendszer csak egy irány mentén végezhet mozgást, a rendszer modellje a dinamika alapegyenlete ( $\sum F = m\ddot{x}$ ) szerint a következő, közönséges másodrendű differenciálegyenlet alkalmazásával írható le:

$$m\ddot{x} = -d\dot{x} + c(x_0 - x) + F(t)$$

ahol  $m$  a tömeg,  $\ddot{x}$  a tömeg gyorsulása,  $\dot{x}$  a tömeg sebessége,  $x$  a tömeg pillanatnyi pozíciója,  $x_0$  a rugó terheletlen hossza,  $c$  a rugóállandó,  $d$  a csillapítási tényező,  $F(t)$  az esetleges (időben változó) külső gerjesztő erő.

A bemutatott egyenletet mozgásegyenletnek nevezzük [4,2]. Megfigyelhető, hogy az egyes erőkomponensek (a csillapításból, ill. a rugóerőből adódóak) a test sebességétől, ill. pillanatnyi pozíciójától függenek. Ezt a megfontolást felhasználva két lengőrendszer összekapcsolható olyan formában, hogy a két testet összekötő elemekben ébredő erőkomponensek nem a testek abszolút sebességétől és pozíciójától függenek, hanem

egymáshoz viszonyított helyzetüktől, ill. sebességkülönbségüktől. Az ilyen módon összekapcsolt lengőrendszert kéttömegű lengőrendszernek nevezzük.



4.1.2. ábra Kéttömegű lengőrendszer modellje

A fenti megfontolások alapján a kéttömegű lengőrendszer első tömegének a mozgásegyenlete a következőképpen írható:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -d_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_1(x_{10} + x_2 - x_1) + F_1(t)$$

Az előzőhöz hasonlóan a második tömegé:

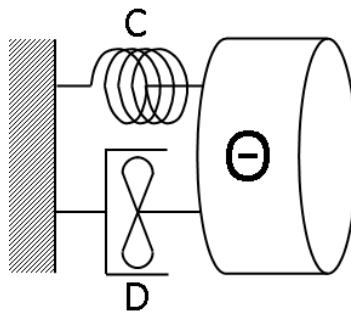
$$m_2 \ddot{x}_2 = -d_1(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - d_2 \dot{x}_2 + c_1(x_1 - x_2 - x_{10}) + c_2(x_{20} - x_2) + F_2(t)$$

ahol a jelölések a megfelelő indexálást figyelembe véve megegyeznek az egytömegű lengőrendszerrel bemutatott jelölésekkel.

A kéttömegű lengőrendszerhez hasonlóan tetszőlegesen sok tömegből, ill. a közöttük lévő tetszőleges kapcsolatokról álló lengőrendszer is definiálható. Ilyen esetben a lengőrendszert annyi egyenlet írja le, ahány szabadságfoka van, vagyis ahány tömeg alkotja.\* Terjedelmi okokból nem térünk ki az összetett lengőrendszerek formális tárgyalására.

\*Itt csak azokat az eseteket tárgyaljuk, amikor egy tömeg legfeljebb egy szabadságfokkal rendelkezik, tehát csak egy irány mentén képes elmozdulni. Ellenkező esetben az egyenletek száma nem egyezik meg a tömegek számával, mivel általánosan a szabadságfokok száma határozza meg, hogy hány egyenlet szükséges a lengőrendszer leírásához.

A lengőrendszerek nem csak longitudinális, hanem forgómozgást végző formában is értelmezhetők. Ezeket a lengőrendszereket torziós lengőrendszernek nevezzük [4,3]. Ez a megközelítés különösen fontos a tengelykapcsolók vizsgálatánál, mivel a tengelykapcsolók, ill. a hajtáslánc hozzájuk kapcsolódó részei is rendszerint forgómozgást végeznek.



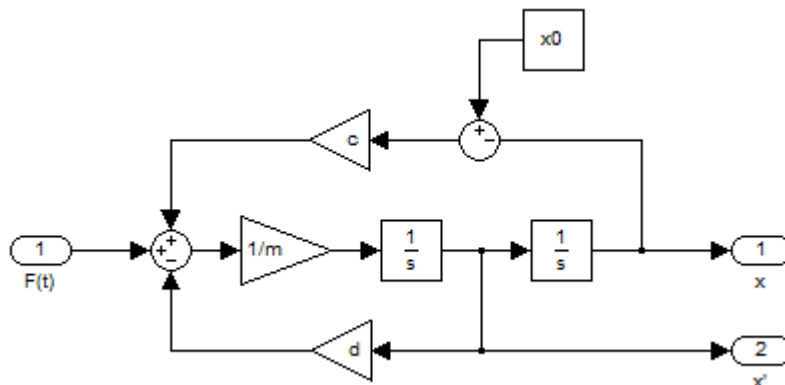
#### 4.1.3. ábra Egytömegű torziós lengőrendszer

Forgómozgást végző rendszer esetén a dinamikai egyenletek azonos alakúak a korábban bemutatott egyenletekkel, viszont a mozgásmennyiségek és a jellemző paraméterek a forgómozgásnak feleltethetők meg. Az egytömegű lengőrendszer viselkedését leíró egyenlet torziós lengőrendszer esetén a következőképpen írható:

$$\Theta \ddot{\varphi} = -d\dot{\varphi} + c(\varphi_0 - \varphi) + M(t)$$

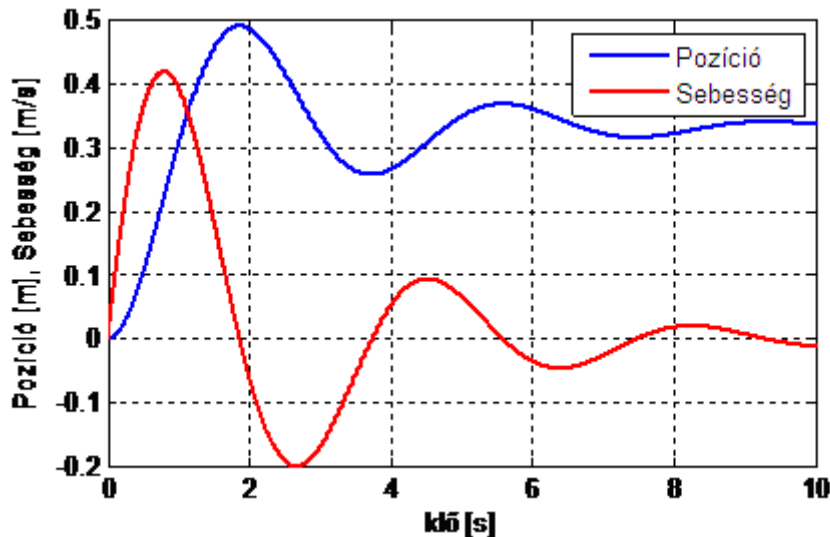
ahol  $\Theta$  a tömegnek a torziós lengőrendszer forgástengelyére számított tehetetlenségi nyomatéka,  $\ddot{\varphi}$  a tömeg szöggyorsulása,  $\dot{\varphi}$  a tömeg szögsebessége,  $\varphi$  a tömeg pillanatnyi pozíciója,  $\varphi_0$  a rugó terheletlen pozíciója,  $c$  a torziós rugóállandó,  $d$  a torziós csillapítási tényező,  $M(t)$  az esetleges (időben változó) külső gerjesztő nyomaték.

A differenciálegyenlettel adott lengőrendszer a megfelelő kezdeti feltételek  $(x(0), \dot{x}(0))$  hozzárendelésével kezdetiérték-feladatot jelent, amely numerikus módszerekkel megoldható. A különböző numerikus módszerek alkalmazásának számos módja van, többek között léteznek erre a célra szolgáló szoftverrendszerek, amelyek akár grafikus eszközökkel is segítik a felhasználót a probléma matematikai megfogalmazásában és megoldásában. Ilyen rendszer például a MATLAB/Simulink, amely elterjedten alkalmazott eszköz a dinamikai modellek és a hozzájuk kapcsolódó irányítási rendszerek szimulációs problémáinak megoldásában.



4.1.4. ábra Példa egytömegű lengőrendszer modelljének megvalósítására MATLAB/Simulink környezetben. Figyeljük meg a műveletvégző elemek megfeleltethetőségét a mozgásegyenlet szerint! (1/s az integrálás műveletét jelöli az integrálás Laplace-transzformáltjának jelölése szerint)





4.1.5. ábra Példa egytömegű lengőrendszer modelljének egységugrás ( $F(t)=1 \text{ N}$ ,  $t \geq 0 \text{ s}$ ) gerjesztőerőre adott válaszfüggvényeire (a mozgásegyenletek megoldásai  $(0,0)$  kezdeti feltételekkel,  $m=1 \text{ kg}$ ,  $c=3 \text{ N/m}$ ,  $d=0,8 \text{ Ns/m}$ ,  $x_0=0 \text{ m}$ )

A lengőrendszerek vizsgálata szempontjából nem csak az időtartományban kapott megoldásfüggvények jelentősek, hanem az is, hogy, ha  $F(t)$  gerjesztőerő harmonikus, vagy harmonikus komponenseket tartalmaz, akkor  $F(t)$  frekvenciájának függvényében milyen viselkedést mutat a lengőrendszer. Ennek leírásához – terjedelmi korlátok miatt bővebb magyarázat nélkül – vezessük be a (csillapítatlan) sajátkőrfrekvencia fogalmát. A sajátkőrfrekvencia a lengőrendszer tulajdonsága, értéke a rugóállandótól és a tömegtől függ, a következő összefüggés szerint:

$$\alpha = \sqrt{\frac{c}{m}}$$

Hasonlóképpen vezessük be a csillapítási arányszám fogalmát is:

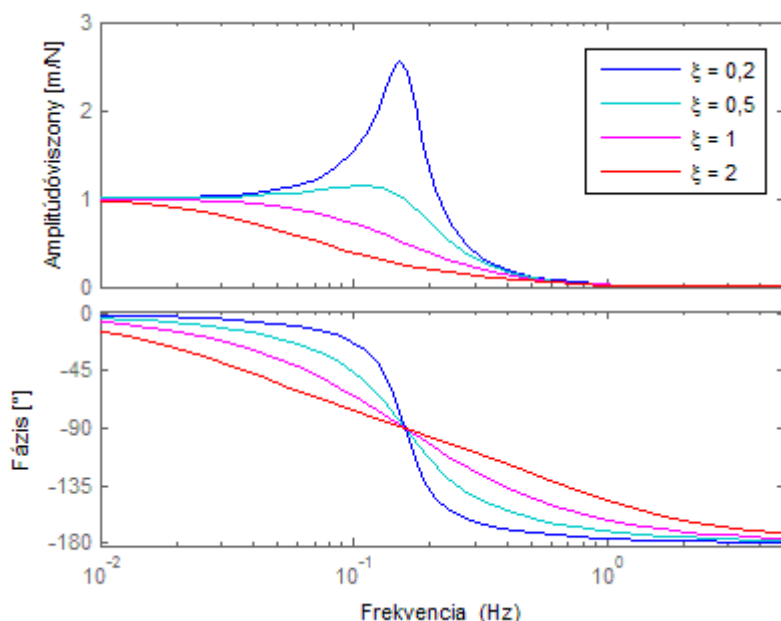
$$\xi = \frac{d}{2m\alpha}$$

A csillapítási arányszám kitüntetett értékekkel rendelkezik. Ha  $\xi < 1$ , alulcsillapítottnak, ha  $\xi > 1$ , túlcsillapítottnak, ha  $\xi = 1$  akkor kritikusan csillapítottnak, ha pedig  $\xi = 0$  akkor csillapítatlannak nevezzük a rendszert. A sajátkőrfrekvencia és a csillapítási arányszám ismeretében számítható az ún. rezonanciafrekvencia:

$$f_r = \alpha \sqrt{1 - 2\xi^2}$$

A rezonanciafrekvencia tulajdonsága, hogy adott amplitúdójú  $F(t)$  gerjesztőerő esetén a lengőrendszer kitérése maximális, ha  $F(t)$  frekvenciája megegyezik a rezonanciafrekvenciával. A rezonanciaállapot, ill. a lengőrendszer maximális kitérése a gyakorlatban általában kerülendő, mivel a szerkezet tönkremenetelét okozhatja. A lengések amplitúdójának szerkezetre káros mértékű növekedése azonban nem csak a rezonanciafrekvencia értékénél, hanem annak környezetében is felléphet. Ahhoz, hogy minden frekvencián megvizsgálhassuk a rendszer viselkedését, elő kell állítani a rendszer ún. frekvenciaátviteli függvényét. (A frekvenciaátviteli függvény meghatározását terjedelmi

okokból nem mutatjuk be. A gyakorlatban célszerű az elterjedt numerikus módszereket alkalmazni a frekvenciaátviteli függvény meghatározásához.) A frekvenciaátviteli függvény a gerjesztés frekvenciájának a függvényében megadja a gerjesztés és a gerjesztett rendszer amplitúdójának a viszonyát, valamint a gerjesztett rendszer lengéseinek a fázisát a gerjesztéshez viszonyítva. Ebből következően a jellemző ábrázolásmódja egy olyan diagrampár, ahol az egyik diagram az amplitúdóviszonyt, a másik pedig a fázist ábrázolja a frekvencia függvényében. Ezeknek a diagramoknak több, egymástól elsősorban elnevezésükben eltérő, de tartalmilag azonos változata is elterjedt, ilyenek pl. a lengéstani irodalomban megtalálható rezonanciadiagramok, vagy a rendszertechnikában használatos Bode-diagramok.



**4.1.6. ábra** Egységnyi paraméterű egytömegű lengőrendszer Bode-diagramjai különböző csillapítási arányszámok esetén (erőgerjesztés és elmozdulás közti átvitel).

Az előzőleg bemutatott tulajdonságból következik, hogy a gépszerkezetek tervezésénél célszerű arra törekedni, hogy a csillapítási arányszámot növeljük, vagy a rezonanciafrekvenciát a szerkezet paramétereinek (tömeg, rugómerevség) megváltoztatásával olyan értékűre „hangoljuk”, ahol rendeltetésszerűen nem, vagy csak nagyon rövid ideig üzemel a rendszer.

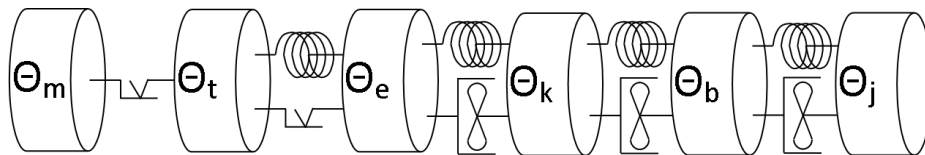
Fontos megemlíteni, hogy a fentebb bemutatott modellek, illetve matematikai megfogalmazásaik lineárisak. Ez matematikai szempontból azt jelenti, hogy az egyenletek baloldala a mozgásmennyiségek legfeljebb elsőfokú (lineáris) függvénye, gyakorlati szempontból pedig azt, hogy érvényes rájuk a szuperpozíció elve. Ez az egyszerűsítés a gyakorlati alkalmazások során nem mindig állja meg a helyét, ilyen esetekben kiegészítő módszerek alkalmazása válik szükségessé.

#### 4.1.7. A hajtáslánc dinamikai modellje

A gépjármű-hajtásláncok dinamikai modellje számos, különböző megközelítés szerint felépíthető. Az alkalmazott módszereket meghatározzák az aktuális tervezési, vizsgálati célok, elsősorban az 1.2.1 pontban megfogalmazott általános elvek szerint. Eltérő modelleket célszerű alkalmazni például a belsőégésű motorok által gerjesztett rezgések hatásainak vizsgálatához, a nyomatékváltók tervezési feladataihoz, vagy éppen a tengelykapcsolók működésének vizsgálatához. A különböző modellek bonyolultságukat, az alkalmazott matematikai módszereket, vagy éppen a számításigényüket tekintve jelentősen eltérőek lehetnek, azonban közös jellemzőjük, hogy a megvalósítás általában valamilyen többcötegű csatolt lengőrendszer mozgásegyenleteinek megoldását jelenti.

Általánosan elmondható, hogy a hajtáslánc minél több alrendszerét vagy alkatrészét különböztetjük meg önálló tömegként (minél több tömegből álló lengőrendszermodellt alkotunk) annál pontosabb eredményeket kapunk és annál részletesebben vizsgálhatjuk a hajtásláncban fellépő tranzienst jelenségeket.

Példaként a tengelykapcsolók kapcsolási folyamatainak, ill. a kapcsolás során fellépő rezgések járművezetőre gyakorolt hatását a LuK tengelykapcsoló-gyártó az alábbi, hat tömegből álló csatolt lengőrendszer-modell alkalmazásával vizsgálja [4,4]. A modell előnye, hogy alkalmazásával közvetlenül vizsgálhatók a járművezetőt érő erőhatások, ill. a járművezető mozgásállapota. Hátránya, hogy a leírásához szükséges hat egyenlet bizonyos problémák esetén nehezebben kezelhető, mint más, egyszerűbb modellek.



4.1.7. ábra Hattömegű torziós lengőrendszer modellje (LuK)

A modellben  $\Theta_m$  a belsőégésű motor, ill. lendkerék,  $\Theta_t$  a tengelykapcsoló-súrlódótárcsa.  $\Theta_e$  az erőátviteli berendezések (nyomatékváltó, kiegyenlítőmű, féltengelyek),  $\Theta_k$  a hajtott kerek,  $\Theta_b$  a karosszéria,  $\Theta_j$  a járművezető redukált tehetlenségi nyomatéka. Látható, hogy az összes tömeg, azok is, amelyek alapvetően nem forgómozgást végeznek, a belsőégésű motor forgattyústengelyére számított tehetlenségi nyomatékként van jelen a modellben. Ez a tömegek és tehetlenségi nyomatékok redukációjának következménye, ami a Steiner-tétel alkalmazásával adódik, amely a hajtáslánc elemeire általánosan a következő alakban írható:

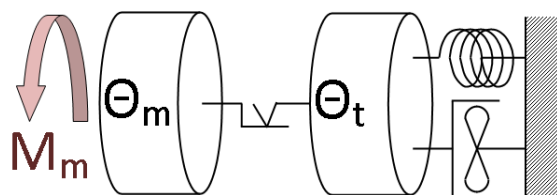
$$\Theta_{red} = \Theta \prod_{j=1}^n i_j^2$$

ahol  $\Theta_{red}$  egy adott elem redukált tehetlenségi nyomatéka,  $\Theta$  az adott elem tehetlenségi nyomatéka a saját forgástengelyére számítva,  $i_j$  a  $j$ -edik módosítás (nyomatékváltó, vagy kiegyenlítőmű módosítása, kerék gördülési sugarából adódó módosítás, stb.),  $n$  a módosítások száma az adott elem és a redukált elem között. Ezzel a módszerrel a probléma megoldása jelentősen egyszerűsíthető, mivel a mozgásegyenletek megoldásánál már nem kell tekintettel lenni a módosítások hatásaira (természetesen ehhez a gerjesztőnyomatékokat, erőket is a módosítások figyelembevételével kell meghatározni).

A modell másik meghatározó tulajdonsága, hogy a tengelykapcsoló-súrlódótárcsa és a lendkerék, valamint a nyomatékváltó kapcsolatát részben Coulomb-súrlódást leíró elemekkel modellezi. Ez az elem nehézséget okozhat a modell felépítésénél és alkalmazásánál, mivel a lengőrendszer mozgásegyenleteit nemlineárisra teszi. Másrészt viszont belátható, hogy legalább egy, Coulomb-súrlódást leíró elem alkalmazása megkerülhetetlen a tárcsás tengelykapcsolók dinamikai modelljében, azok működési alapelveiből adódóan. A nemlineáris tulajdonságokból adódó problémák kezelése érdekében ilyen esetekben célszerű a modellt két, szakaszonként lineáris modellre bontani, a jellemző munkapont(ok) körül linearizálni, vagy olyan numerikus megoldási módszert alkalmazni a mozgásegyenletek megoldásához, amely a nemlineáris egyenleteket is képes megoldani.

A fenti modellen túl, a hajtáslánc egyszerűbb modelljei is létrehozhatók és alkalmazhatók. Gyakori például a bemutatott modell öt tömeget magába foglaló változata (járművezető nélkül), amely csak a járműkarosszériáig bezáróan vizsgálja a hajtáslánc viselkedését.

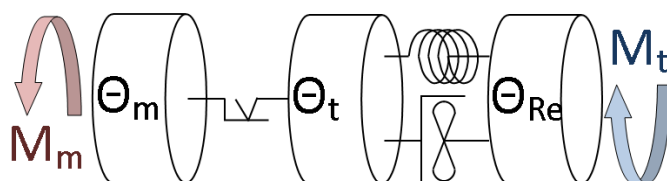
Más megközelítésben a tengelykapcsoló viselkedése vizsgálható olyan modell alkalmazásával is, amelyben a hajtott kerekek és a járműkarosszéria egy tömeget képez és végtelen tehetetlenségű. Ezzel a közelítéssel a hajtáslánc modellje egy kéttömegű lengőrendszer modelljévé egyszerűsödik [4,5]. Nyilvánvaló, hogy ezzel az egyszerűsített modellel nem vizsgálható a tengelykapcsoló összes üzemiállapota, hanem jellemzően csak a kapcsolat kezdeti, nagy sebességkülönbségű szakasza, ill. bizonyos lengéstani tulajdonságok.



4.1.8. ábra Kéttömegű torziós lengőrendszer modellje, mint egyszerűsített hajtásláncmodell

#### 4.1.9. Háromtömegű egyszerűsített hajtásláncmodell alkalmazása a tengelykapcsoló vizsgálatához

Az előzőleg bemutatott modellek tulajdonságai alapján adódik, hogy a tengelykapcsolók összes üzemiállapotban történő vizsgálatához a hajtáslánc egy legalább három tömegeből és egy nemlineáris elemből (Coulomb-súrlódás) álló modelljére van szükség [4,6] [4,7].



4.1.9. ábra Háromtömegű torziós lengőrendszer modellje, mint egyszerűsített hajtásláncmodell

Ez a modell egy olyan torziós lengőrendszerként hozható létre, amelyben a modellt alkotó három tömeg a következő: a motor forgattyústengelyének és a kapcsolódó alkatrészeknek a tehetetlenségi nyomatéka, a tengelykapcsoló súrlódótárcsájának a tehetetlenségi nyomatéka, és a nyomatékváltó, valamint a jármű összes többi részének (kiegyenlítőmű, kerekek, karosszéria) redukált tehetetlenségi nyomatéka. A modell matematikai megfogalmazása az alábbi egyenletrendszer szerint írható:

$$\Theta_m \ddot{\varphi}_m = -\mu C_t F_n(t) \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}_m - \dot{\varphi}_t) + M_m(t)$$

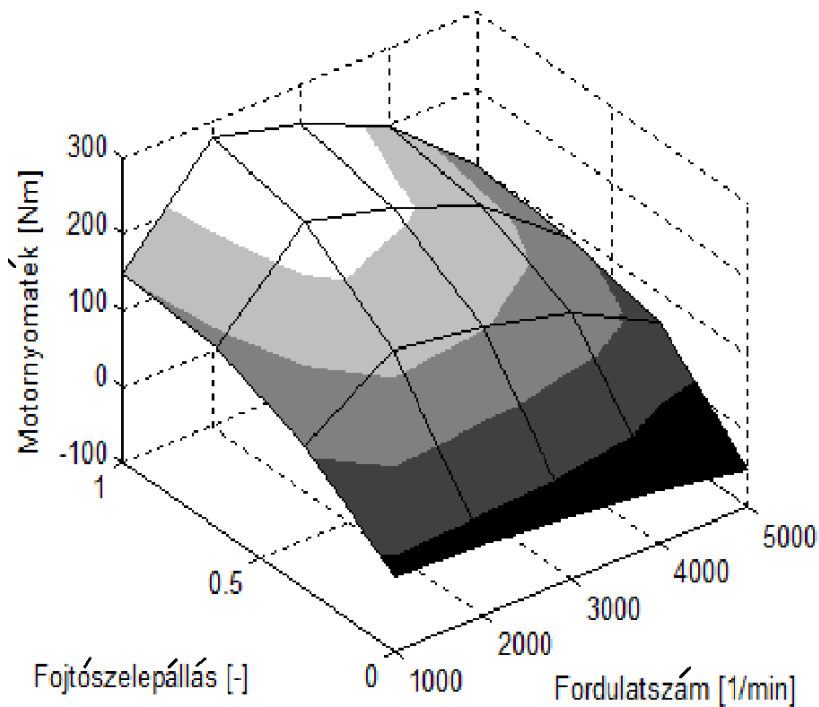
$$\Theta_t \ddot{\varphi}_t = \mu C_t F_n(t) \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}_m - \dot{\varphi}_t) - d(\dot{\varphi}_t - \dot{\varphi}_{R\epsilon}) + c(\varphi_0 + \varphi_{R\epsilon} - \varphi_t)$$

$$\Theta_{R\epsilon} \ddot{\varphi}_{R\epsilon} = d(\dot{\varphi}_t - \dot{\varphi}_{R\epsilon}) - c(\varphi_0 + \varphi_{R\epsilon} - \varphi_t) + M_t(t)$$

ahol  $\Theta_m$  a motor (forgattyústengely és kapcsolódó alkatrészek) tehetetlenségi nyomatéka,  $\ddot{\varphi}_m$  a motor szöggyorsulása,  $\mu$  a tengelykapcsoló súrlódótárcsájának súrlódási tényezője,  $C_t = \frac{2}{3} \frac{D_k^3 - D_b^3}{D_k^2 - D_b^2}$  tengelykapcsoló-állandó, ahol  $D_k$  a tengelykapcsoló súrlódófelületének külső átmérője,  $D_b$  a tengelykapcsoló súrlódófelületének belső átmérője,  $F_n(t)$  a tengelykapcsolót összenyomó, időben változó normálerő,  $\dot{\varphi}_m$  a motor szögsebessége,  $M_m(t)$  az időben változó motornyomaték,  $\Theta_t$  a tengelykapcsoló súrlódótárcsájának tehetetlenségi nyomatéka,  $\ddot{\varphi}_t$  a tengelykapcsoló súrlódótárcsájának szöggyorsulása,  $\dot{\varphi}_t$  a súrlódótárcsa szögsebessége,  $d$  a súrlódótárcsa és a nyomatékváltó közötti torziós csillapítási tényező,  $c$  a súrlódótárcsa torziós csillapítórugóinak torziós rugómerevsége,  $\varphi_0$  a torziós rugó nyugalmi pozíciója,  $\Theta_{R\epsilon}$  a nyomatékváltó, és a teljes redukált járműtömeg tehetetlenségi nyomatéka,  $\ddot{\varphi}_{R\epsilon}$  a redukált járműtömeg szöggyorsulása,  $\dot{\varphi}_{R\epsilon}$  a redukált járműtömeg szögsebessége,  $\varphi_{R\epsilon}$  a redukált járműtömeg pozíciója,  $M_t(t)$  a redukált járműtömegre ható, időben változó terhelés (pl. gördülési és légellenállás, stb.).

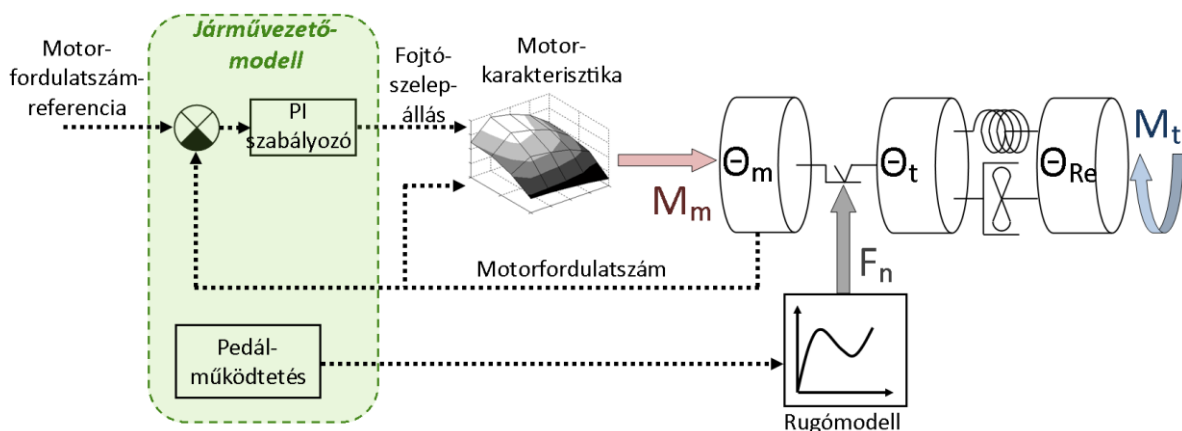
Figyelembe kell venni, hogy a modell, az előzőekben bemutatott lineáris rendszerekhez képest kibővült  $\mu C_t F_n(t) \operatorname{sgn}(\dot{\varphi}_m - \dot{\varphi}_t)$  nemlineáris taggal, amire a Coulomb-súrlódás leírása miatt van szükség. Ez a tag súrlódásból adódó nyomatékot határozza meg a motor és a súrlódótárcsa szögsebesség-különbségének előjelétől függően.

A modellt részletesebben szemlélve felmerülhet, hogy  $M_m(t)$ ,  $F_n(t)$  és  $M_t(t)$  függvények nincsenek egyértelműen meghatározva. Ennek oka, hogy a vizsgált problémától függően többféleképpen is megadhatók. Legegyszerűbb esetben ezek a függvények összetartozó idősorokként, vagy szimbolikusan adott közelítőfüggvényekként (pl. polinomfüggvények) illeszthetők a modellhez. Összetettebb modellek esetén ezek a függvények a teljes problémát leíró modell egy-egy önálló részmodelljeként tekinthetők. Például  $M_m(t)$  megadható a belsőégésű motor nyomaték-fojtószelepállás-motorfordulatszám karakterisztikája alapján.



4.1.10. ábra Példa motornyomaték-fojtószelepállás-motorfordulatszám karakterisztikára

A motorkarakterisztika kiegészíthető a járművezető egy egyszerűsített modelljével, ami fordulatszám-szabályozást valósít meg egy PI szabályozóval, előállítva ezzel a motorkarakterisztikához szükséges másik szükséges információt, a fojtószelepállást, mint a szabályozás beavatkozójelét. Ezzel a módszerrel biztosítható, hogy a kapcsolási folyamatok szimulációja során a motor fordulatszáma nem csökken nagymértékben, mivel a járművezető-modell megpróbálja azt állandó értéken tartani. A motorfordulatszámot visszacsatolva a járművezető modellje és a motorkarakterisztika hozzákapcsolható a hajtáslánc modelljéhez. A modell tovább bővíthető a tengelykapcsoló-pedál működtetését és a tengelykapcsoló rugóját leíró modellekkel, ezáltal  $F_n(t)$  pillanatnyi értéke is meghatározható.  $M_t(t)$  pillanatnyi értéke jellemzően a gördülési ellenállás és a légellenállás ismert összefüggései, valamint mérések alapján határozható meg.



4.1.11. ábra Háromtömegű hajtásláncmodell motor- és rugókarakterisztikával, valamint járművezető-modellel



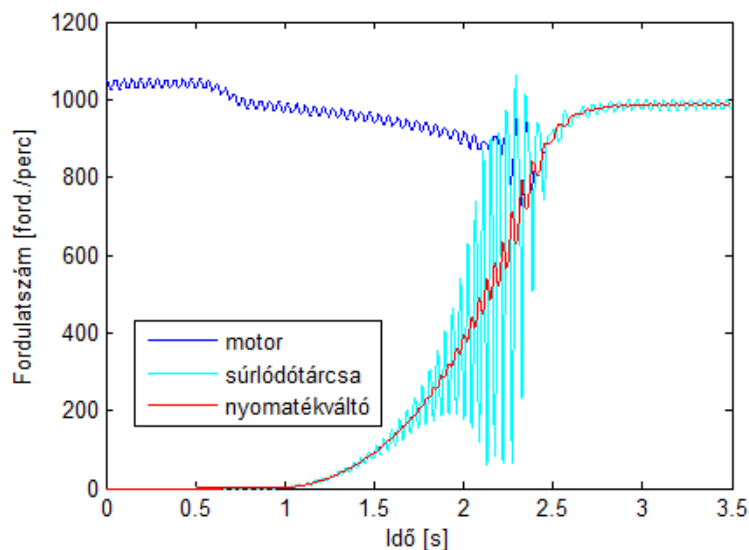
Az ilyen módon adott modellt szimulációs környezetben megvalósítva több különböző, a tengelykapcsoló működésére jellemző tranziens üzemállapotot vizsgálhatunk. Példaként a 2.2. fejezetben is tárgyalt, a jármű álló helyzetből történő indulási folyamatának szimulációját mutatjuk be.

A szimuláció a következők szerint történik:

- 1. A motor fordulatszáma 1000 ford./perc, amit a járművezető megpróbál állandó értéken tartani.**
- 2. A járművezető  $t=0,5$  s-nél egyenletes sebességgel elkezd felengedni a tengelykapcsoló-pedált és ezáltal zárni a tengelykapcsolót.**
- 3. A pedálemozdulás függvényében a súrlódási nyomaték növekedni kezd.**
- 4. A motorfordulatszám fokozatosan csökken, ahogy a tengelykapcsolón keresztül egyre nagyobb terhelés éri a motort.**
- 5.  $t=1$  s-ig a jármű nem mozdul meg, mivel csak ekkor visz át a tengelykapcsoló annyi nyomatékot, ami a járművet a nyugalmi állapotából ki tudja mozdítani (nyugvó súrlódás legyőzése).**
- 6. A tengelykapcsoló fokozatos zárásával egyre nagyobb nyomatékot visz át, ezáltal a jármű gyorsul, és a motor, valamint a nyomatékváltó közti fordulatszám-különbség fokozatosan kiegyenlítődik.**
- 7. Amikor a fordulatszám-különbség kiegyenlítődik, a súrlódótárcsa nyugalmi helyzetbe kerül a motorhoz (lendkerékhez) képest és az összekapcsolódott hajtáslánc fokozatosan eléri az állandósult sebességet.**

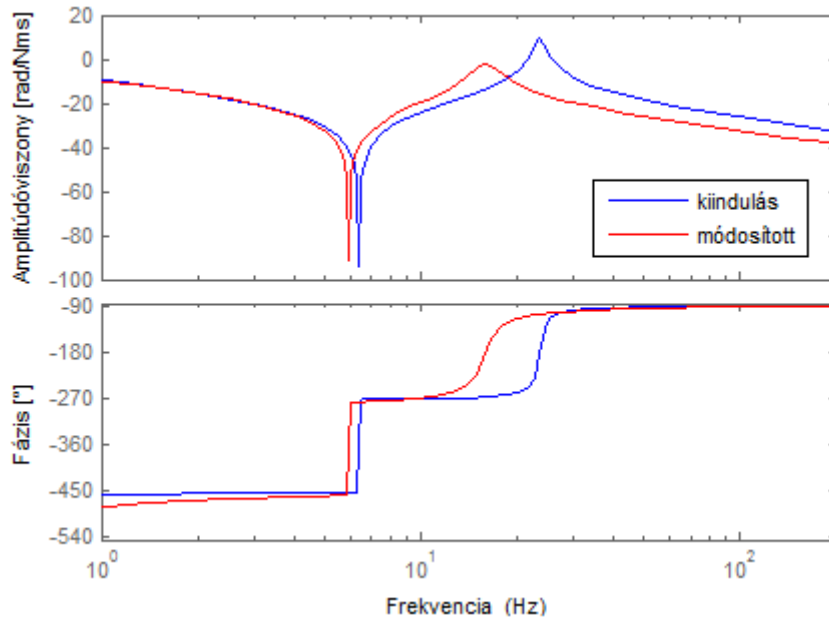
A kapcsolási folyamat során elsősorban a szögsebesség-különbségek, ill. a szögsebesség-kiegyenlítődés vizsgálata által vonhatunk le következtetéseket a rendszer működésére vonatkozólag, ezért a szimulációban is elsősorban ezeket a mennyiségeket vizsgáljuk.

Első szimulációs eredményként egy olyan esetet mutatunk be, ahol a hajtáslánc kialakítása dinamikai szempontból nem megfelelő, ezért rezonanciaállapot alakul ki, amely károsíthatja a szerkezetet. Az ábrán látható rezonancia a kapcsolási folyamat során kismértékben változó súrlódási tulajdonságok, ill. a nemlineáris rugókarakterisztika következtében a súrlódónyomatékon keresztül történő gerjesztés következtében jön létre [4,4]. A gerjesztés frekvenciája 22...24 Hz.



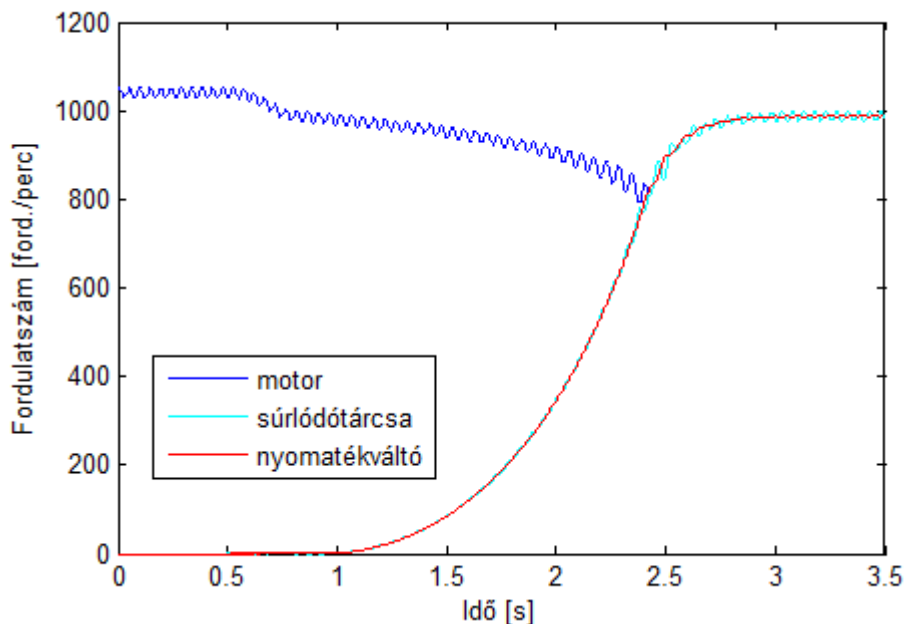
**4.1.12. ábra** Rezonanciaállapot kialakulása egytárcsás száraz tengelykapcsoló kapcsolási folyamata során (háromtömegű torziós lengőrendszer modelljén előállított szimulációs eredmény)

Előállítva a rendszer frekvenciaátviteli függvényét a súrlódótárcsára ható gerjesztőnyomaték és a súrlódótárcsa szögsebessége között, a Bode-diagramon látható, hogy a frekvenciaátviteli függvény amplitúdóviszonyának maximuma van a 24 Hz-es frekvenciánál. Ez közelítőleg egybeesik a gerjesztés frekvenciájával ezért kialakul a rezonanciaállapot. Adódik, hogy a rezonanciaállapot kialakulása elkerülhető, ha a rendszert úgy módosítjuk, hogy a lokális maximum megszűnjön, vagy más frekvenciaértékhez kerüljön. Ez több paraméter változtatásával is elérhető, de nem minden változtatás előnyös egyéb konstrukciós szempontok miatt. A súrlódótárcsa tehetetlenségi nyomatékának megnövelésével például egyetlen paraméter változtatásával el tudjuk „hangolni” a rezonanciafrekvenciát olyan tartományba, amelyik már jellemzően nem esik egybe a gerjesztés frekvenciatartományával. Ennek a módosításnak a frekvenciaátvitelre gyakorolt hatása látható az alábbi ábrán is.



4.1.13. ábra A kiindulási (rezonanciajelenséget mutató) és egy lehetséges módosított egytárcsás száraz tengelykapcsoló és a kapcsolódó hajtáslánc elemek Bode-diagramjai (háromtömegű torziós lengőrendszer modelljén előállított szimulációs eredmény)

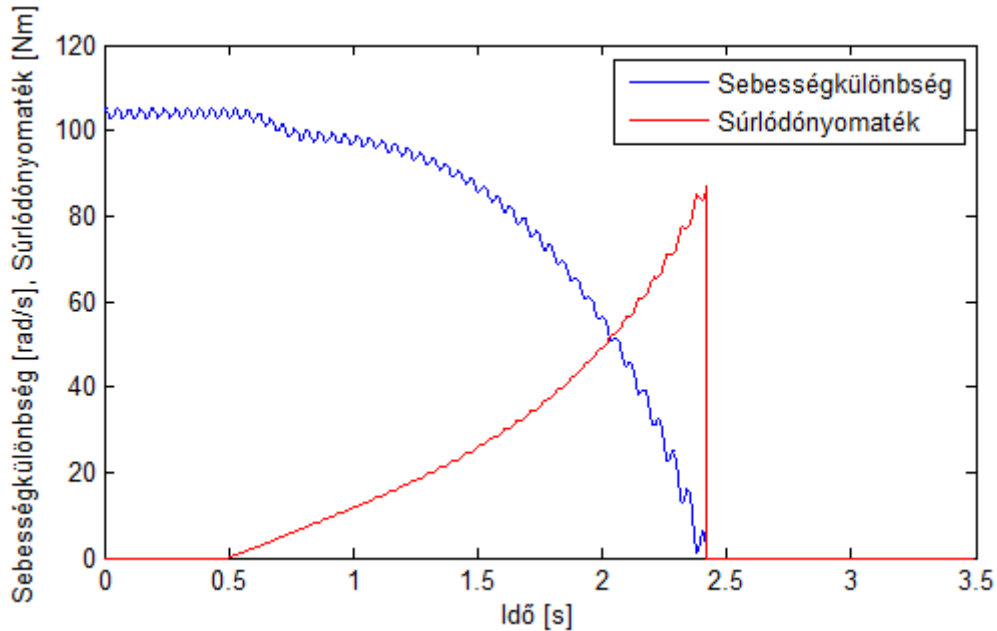
A módosítás után a szimulációt ismételten végrehajtva a kapott eredményeken látható, hogy a módosítás következtében a rezonanciaállapot kialakulása megszűnt a kapcsolási folyamat során.



4.1.14. ábra Módosított, dinamikai szempontból megfelelő egytárcsás száraz tengelykapcsoló kapcsolási folyamata (háromtömegű torziós lengőrendszer modelljén előállított szimulációs eredmény)

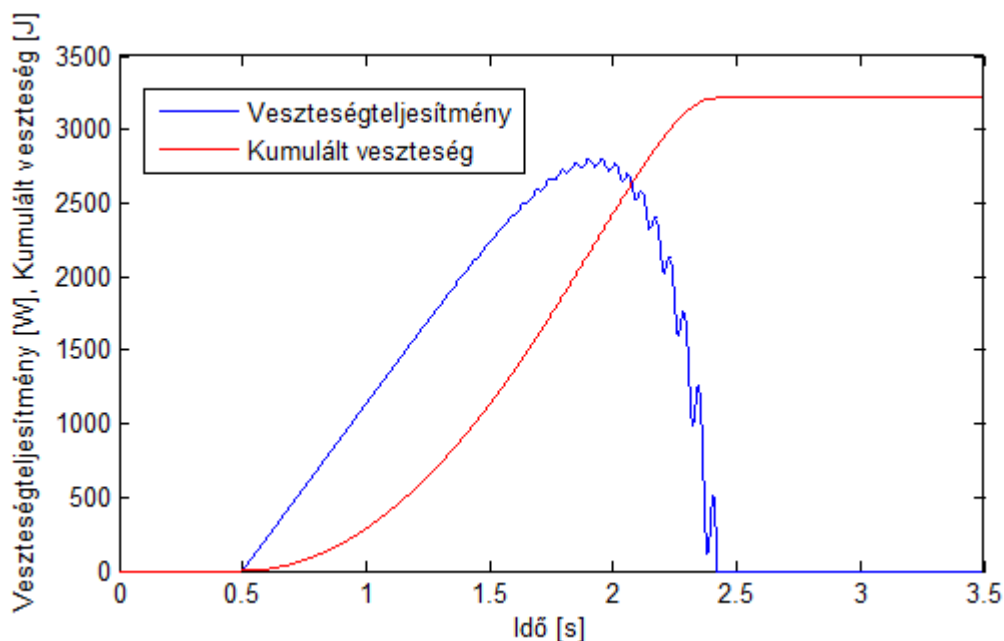
A modell nem csak a sebességkülönbségek és a frekvenciaátviteli tulajdonságok vizsgálatára alkalmas, vizsgálhatók vele olyan járulékos jelenségek, amelyek ideális esetben nem befolyásolják közvetlenül a kapcsolási folyamatot, de jelentős hatással lehetnek a szerkezet

élettartamára. Ilyen vizsgálat lehet például a kapcsolási folyamat során keletkező veszteségteljesítmény, ill. a kupplungszerkezet túlhevülésének vizsgálata, amelyből következtetéseket lehet levonni a szerkezet esetleges meghibásodására, ill. a várható élettartamára vonatkozólag. Mivel az alkalmazott modell meghatározza a motor és a súrlódótárcsa sebességét, ezért képezhető belőlük a sebességkülönbség.



4.1.15. ábra Sebességkülönbség és súrlódónyomaték a motor és a súrlódótárcsa között (háromtömegű torziós lengőrendszer modelljén előállított szimulációs eredmény)

A sebességkülönbség és a súrlódónyomaték ismeretében számítható a pillanatnyi veszteségteljesítmény, ami a kapcsolási folyamat során a súrlódásból adódik. A veszteségteljesítmény idő szerinti integrálja alapján számítható a kumulált veszteség, amit felhasználva felső becslés adható a hőmérsékletnövekedés értékére a vizsgált alkatrészek hőkapacitása alapján.



4.1.16. ábra Vesztégteljesítmény és kumulált veszteség (háromtömegű torziós lengőrendszer modelljén előállított szimulációs eredmény)

4.1.17. További szempontok tengelykapcsolók tervezéséhez

A tengelykapcsolók tervezésénél az egyik legfontosabb szempont, hogy a tengelykapcsoló a tervezési nyomatékokat megfelelő biztonsággal képes legyen átvinni, másfelől viszont korlátozott a tengelykapcsoló súrlódótárcsáját terhelő felületi nyomás, valamint a tengelykapcsoló átmérője. A felsorolt megfontolásoknak megfelelően a tengelykapcsolót úgy méretezzük, hogy a felületi nyomásra teljesüljön a  $p \leq p_{max}$  összefüggés, ahol  $p_{max}$  a maximálisan megengedhető felületi nyomás. Ezen túl a tengelykapcsoló súrlódó felületeit nyomatékokra ellenőrizzük, ill egyéb kötéseit (pl. tengely-agy kapcsolat, súrlódóelemek rögzítése, stb.) nyomatékokra méretezzük. Az említett számítások alapösszefüggése a súrlódófelületeken átvihető névleges nyomaték számítására szolgáló összefüggés, ami a következőképpen írható:

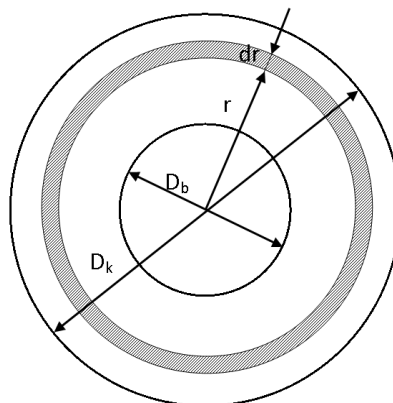
$$M = 2\pi z \int_{D_b/2}^{D_k/2} \mu p r^2 dr = \frac{\pi z \mu p}{12} (D_k^3 - D_b^3)$$

ahol  $z$  a súrlódófelületek száma,  $\mu$  a tengelykapcsoló súrlódótárcsájának súrlódási tényezője,  $D_k$  a tengelykapcsoló súrlódófelületének külső átmérője,  $D_b$  a tengelykapcsoló súrlódófelületének belső átmérője,  $r$  a sugár,  $p$  pedig a felületi nyomás, ami a következő összefüggés szerint határozható meg:

$$p = \frac{4F_n}{\pi(D_k^2 - D_b^2)}$$

ahol  $F_n$  a tengelykapcsolót összenyomó normálerő [4,8].

\*Milyen geometriai jellemzőktől és hogyan függ a tengelykapcsoló átvihető nyomatéka.



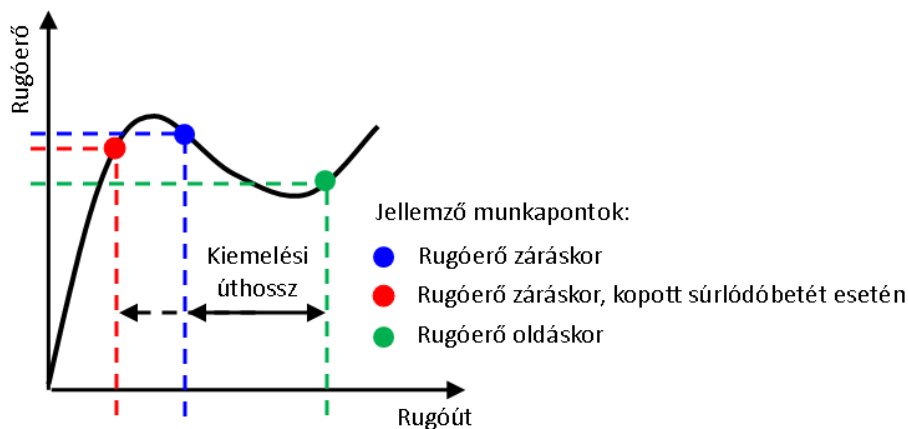
4.1.17. ábra Vázlat az átvihető névleges nyomaték számításához a súrlódófelületen

Fenti összefüggésekkel kapcsolatban érdemes kiemelni, hogy az átvihető nyomaték a külső és a belső átmérő harmadik hatványának különbségétől függ. A gyakorlatban egyes esetekben

egyszerűsítésként szokás az átmérők négyzetének különbségével és a középátmérővel számolni, azonban ez a közelítés csak akkor ad elfogadhatóan pontos eredményt, ha a  $\frac{D_b}{D_k} > 0,75$  (jellemzően pl. kis átmérőjű, soklemezű nedves tengelykapcsolók esetén).

A tengelykapcsolók és kötőelemeik részletes méretezésének bemutatására nem térünk ki, mivel a vonatkozó irodalom (pl. [4,8][4,9]) könnyen hozzáférhető, és részletes leírást ad a problémakörökről.

A gépjármű-tengelykapcsolók tervezésénél további szempont a tengelykapcsolót alaphelyzetben zárva tartó rugó megfelelő kialakítása. A rugó karakterisztikája befolyásolja a járművezető által kifejtett erő nagyságát és a kapcsolási folyamatot is. A járművezető tehermentesítése és az egyenletes kapcsolási folyamat biztosítása érdekében általában tányérrugókat alkalmaznak erre a célra [4,10].



4.1.18. ábra A tengelykapcsolókban alkalmazott tányérrugó jellemző karakterisztikája és fontosabb munkapontjai

Ezen túlmenően, a tengelykapcsoló axiális merevségének vizsgálatakor figyelembe kell venni a súrlódótárcsa és a ház axiális merevségét is.

## 4.2. Irányítási rendszerek alkalmazása tengelykapcsolók automatikus működtetéséhez

### 4.2.1. Tengelykapcsoló automatikus működtetése

A tengelykapcsolók automatikus működtetése szerteágazó problémakör, aminek a relevanciáját az ilyen megoldások egyre szélesebb körű járműipari alkalmazása adja. A tengelykapcsolók részben, vagy teljes mértékben automatizált működtetése több különböző szempont szerint is célszerű lehet. Ilyen szempontok lehetnek például:

- **terhelés alatt kapcsolható, több tengelykapcsolót alkalmazó nyomatékvtólok kapcsolási folyamatának megvalósítása**
- **hagyományos szerkezeti felépítésű nyomatékvtólok működtetésének automatizálása**

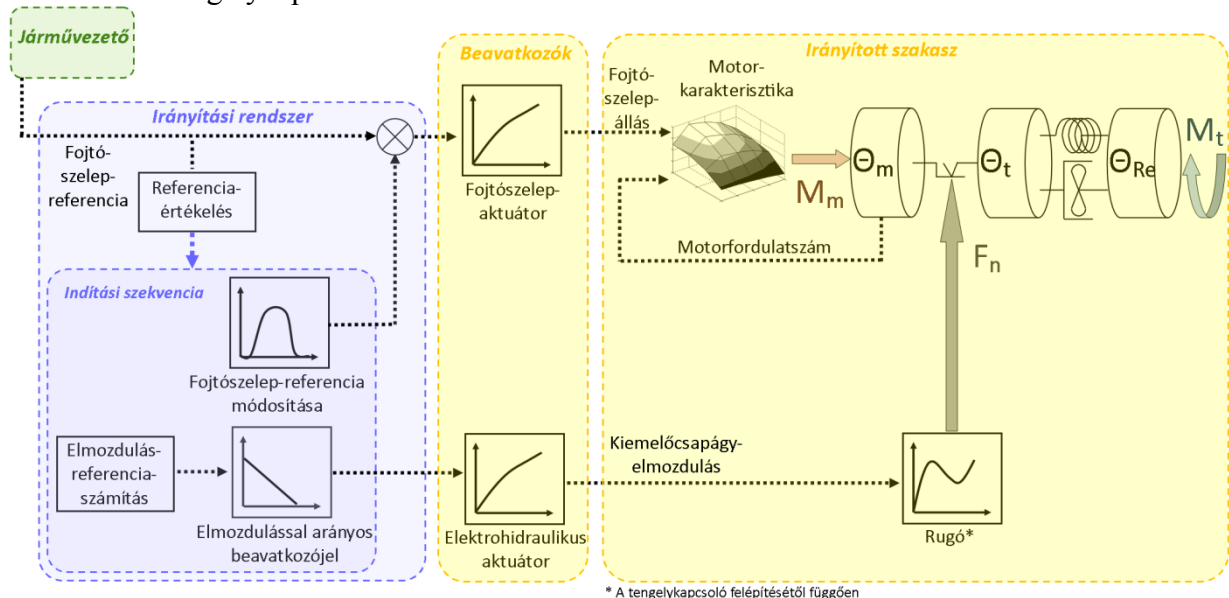


- **a kapcsolási folyamat minőségi jellemzőinek javítása.**

Általában elmondható, hogy a tengelykapcsolók automatikus működtetésére nincsenek általános megoldások, hanem adott jármű által meghatározott szempontrendszer szerint történik az irányítási rendszer kialakítása. Mivel a legtöbb automatizálási törekvés megközelíthető abból a szempontból, hogy célja az emberi közreműködés kiváltása, vagy akár az emberi közreműködés minőségi jellemzőit meghaladó irányítási megoldás megvalósítása, ezért a tengelykapcsolók automatizált működtetésének irányítási problémái is vizsgálhatók ebből a szempontból. Ezen túl a különböző automatizált tengelykapcsolóműködtető-rendszerek működési elvének áttekintéséhez célszerű figyelembe venni az irányítási rendszerek felépítésével kapcsolatos alapvető általános ismereteket is.

A problémakör további tárgyalása során – terjedelmi okokból – csak a tengelykapcsolók indítási folyamatával kapcsolatos automatizálási kérdések köréből mutatunk példákat. Ennek megfelelően a szerepeltetett működési elvek, ábrák és összefüggések egyszerűsítettek és hiányosak abban az értelemben, hogy lehetőség szerint nem tartalmazzák azokat az elemeket, amelyek nincsenek közvetlen összefüggésben az indítási folyamat automatizálásával.

A legegyszerűbb irányítási rendszerek, amelyek a tengelykapcsolók működtetéséhez alkalmazhatók, olyan vezérlések (nyílt hatásláncú irányítási rendszerek [4,15]), amelyek valamilyen előre meghatározott kiemelőcsapágy-elmozduláskarakterisztika szerint mozgatják a kiemelőcsapágyat a 2.1 fejezetben bemutatott elektrohidraulikus, elektropneumatikus, esetleg elektromechanikus beavatkozó szervek (aktuátorok) segítségével. A kiemelőcsapágy működtetése mellett gyakori megoldás, hogy az irányítási rendszer egyidejűleg módosítja a belsőégésű motor fojtószelepállását is, megnövelt teljesítményleadást biztosítva a kapcsolási folyamat során. Visszatekintve a korábban bemutatott szimulációs modellhez (amely a járművezető viselkedésének egyszerűsített modelljét is tartalmazta), az ilyen módon működtetett tengelykapcsoló jellemezhető a modell elemeivel. Ilyen vezérléssel megvalósított automatizált tengelykapcsoló működési vázlatát az alábbi ábrán.



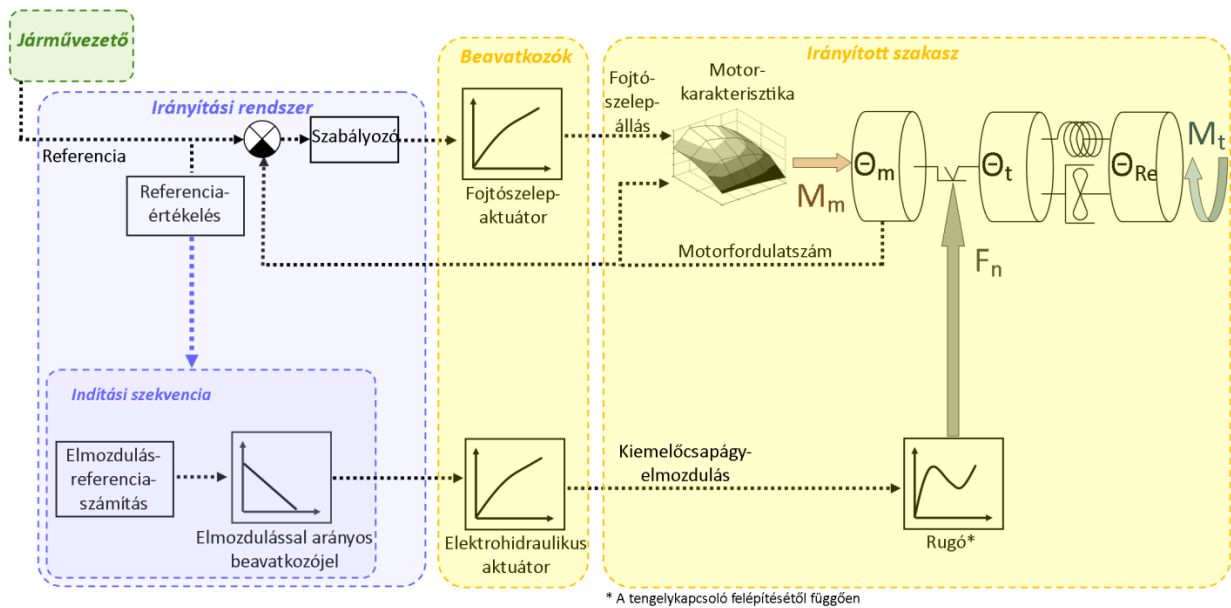
**4.2.1. ábra Nyílt hatásláncú irányítással (vezérléssel) megvalósított automatizált tengelykapcsoló működési vázlat**

A korábban bemutatott modellhez képest különbség, hogy az ábrán nem egy modell elemei, hanem a megvalósított elemeket reprezentáló jelölések láthatók (tehát pl. a járművezető modellje helyett a járművezető, a hajtáslánc modellje helyett a hajtáslánc, stb.). További különbség, hogy ebben az esetben a járművezetőről nem feltételezzük, hogy szabályozóként működne (mindazonáltal ettől a feltételezéstől függetlenül működhet ilyen módon), valamint megjelent az irányítási rendszer és a beavatkozásszervek.

A kapcsolási folyamat minőségét alapvetően befolyásolja az irányítási rendszer. A bemutatott példában az irányítási rendszer legfontosabb tulajdonsága, hogy nyílt hatásláncú, tehát nem tartalmaz semmilyen visszacsatolást az irányított szakasz állapotváltozóiról (pl. mozgásmennyiségek). Működése azt az egyszerű elvet követi, hogy, ha a járművezető a fojtószelep-referencián (gázpedálálláson) keresztül közli az indulási szándékát, akkor a vezérlés egy előre meghatározott karakterisztika szerint zárja a tengelykapcsolót, a kapcsolási folyamat során pedig kismértékben megnöveli a fojtószelep-referencia értékét, megnövelt motorteljesítmény-leadást biztosítva ezáltal [4,16]. Működési elvéből következően ez az irányítási rendszer csak a legegyszerűbb esetekben alkalmazható, mivel nem biztosítható, hogy az előre meghatározott kapcsolási karakterisztika a környezeti feltételek jelentős változása (pl. vízszintes felület helyett meredek emelkedőn történő indulás) esetén is megfelelő kapcsolási folyamatot fog biztosítani (ld. még.: 2.2. fejezet).

Az említett problémák kiküszöbölése érdekében általában valamilyen zárt hatásláncú irányítást, vagyis szabályozást valósítanak meg az automatizált tengelykapcsolókat működtető irányítási rendszerek. Az alkalmazott szabályozási köröknek számos különböző megvalósítása lehetséges abban az értelemben, hogy a rendszer melyik állapotváltozója (ill. állapotváltozói) az irányított jellemző. Mivel a kapcsolási folyamat során elsősorban a belsőégésű motor és a hajtáslánc sebességének (fordulatszámának) tranzienseivel szemben támaszthatunk minőségi követelményeket ezért a legelterjedtebben alkalmazott megoldások a belsőégésű motor, ill. a nyomatékváltó fordulatszámának szabályozása a kapcsolási folyamat során. A továbbiakban a belsőégésű motor fordulatszám-szabályozására épülő szabályozási megoldásokon keresztül mutatunk be néhány egyszerűbb szabályozási lehetőséget.

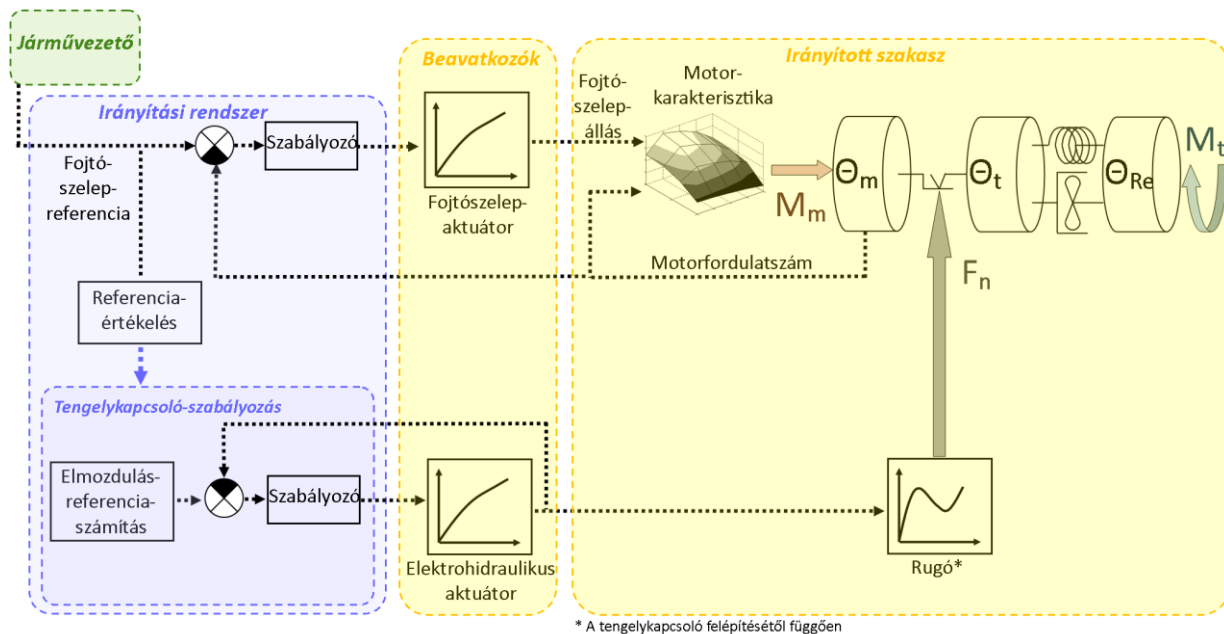
A legegyszerűbb eset a belsőégésű motor fordulatszám-szabályozása olyan módon, hogy közben a tengelykapcsoló működtetése továbbra is vezérelt, vagyis előre meghatározott karakterisztika szerint történik. Ennek a szabályozási megoldásnak a működési vázlata (benne foglalva a szabályozás hatásvázlatát is) látható az alábbi ábrán.



**4.2.2. ábra A belsőégésű motor fordulatszám-szabályozásával megvalósított automatizált tengelykapcsoló működési vázlata**

Az ábrán látható, hogy a motor fordulatszáma az irányított jellemző, amely a negatív visszacsatolás révén szabályozási kört képez (Az ábrán a  $\otimes$  jelölés a különbségképzést jelenti). Ezt az irányítási megoldást önállóan ritkán alkalmazzák, de számos automatizált tengelykapcsoló-rendszer alapját képezi [4,12]. A belsőégésű motor kapcsolás közbeni fordulatszám-szabályozásával kapcsolatban megjegyzendő, hogy, bár a bemutatott ábra az irányítási rendszert egyetlen, összefüggő egységként jelöli, a szabályozás, ill. az irányítás megvalósítása általában két alrendszer, a beágyazott hajtásláncirányító egység (Traction Control Unit – TCU) és a beágyazott motorirányító egység (Engine Control Unit – ECU) együttes, összehangolt működése révén történik.

A belsőégésű motor szabályozásán túl lehetőség van a tengelykapcsoló-működtetés szabályozására is. Ennek a jelentősége elsősorban abban áll, hogy az üzemi körülmények változása (pl. hőmérséklet, kopás, stb.) jelentősen befolyásolhatja a kapcsolási folyamatot, ami az előre definiált karakterisztika szerinti tengelykapcsoló-működtetés esetén a kapcsolási folyamat minőségi jellemzőinek romlásához vezethet. Ennek elkerülése érdekében bevezethető a tengelykapcsoló-működtetés szabályozása. Az alábbi egy olyan rendszer működési- ill. hatásvázlatát mutatja, amely a belsőégésű motor fordulatszám-szabályozása mellett a kiemelőcsapágy pozíciószabályozását is megvalósítja.



**4.2.3. ábra A belsőégésű motor fordulatszám-szabályozásával és a kiemelőcsapágó pozíciószabályozásával megvalósított automatizált tengelykapcsoló működési vázlata**

A bemutatott szabályozási módszereknek számos további változata létezik. Mivel a kapcsolási folyamat minőségi jellemzői a motor fordulatszám-tranziense mellett ugyanúgy a hajtáslánc többi elemének fordulatszám-tranzienseihez is köthetők, ezért gyakori a bemutatott szabályozásokhoz hasonló fordulatszám-szabályozás alkalmazása a nyomatékvaltó oldalán is, akár a motor fordulatszám-szabályozásával együttesen. A kapcsolási folyamat minőségi jellemzőinek javítása érdekében (pl. ún. félaktív rezonanciacsökkentés céljából) a fordulatszám-szabályozás közvetett módon, a tengelykapcsoló működtetése révén is megvalósítható [4,11]. Szintén jellemző megoldás a belsőégésű motor és a nyomatékvaltó fordulatszám-különbségének szabályozása is [4,13][4,14]. A legösszetettebb szabályozási megoldások egy ún. állapotbecslési algoritmus segítségével képesek meghatározni olyan állapotváltozók értékét is, amelyek nincsenek közvetlenül mérve, vagy a mért jelet jelentős zaj terheli. Az ilyen módon meghatározott értékek felhasználásával további szabályozási körök képezhetők, akár konkurens kialakítással is, amely kialakítás lehetővé teszi, hogy az üzemállapot jelentős megváltozása esetén a megváltozott feltételeknek leginkább megfelelő szabályozás lépjen működésbe [4,11][4,13].

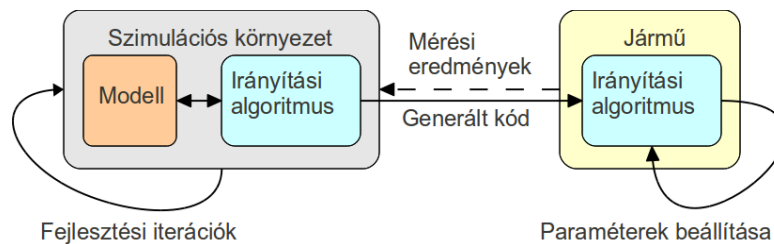
#### 4.2.2. A dinamikai modell alkalmazása irányítási módszerek modellalapú fejlesztéséhez

Írányított rendszerek esetén a szimulációs modell felhasználható arra a célra, hogy az irányítási algoritmus fejlesztési iterációinak egy részét a szimulációs környezetben tegyék meg. A tengelykapcsolók automatizált működtetése esetén az említett irányítási megoldásokat célszerű szimulációs környezetben, a bemutatott dinamikai modellel párhuzamosan fejleszteni.

A szimulációs környezetben létrehozott irányítási algoritmus automatizált eszközökkel átültethető a járműbe olyan módon, hogy a szimulációs környezetben megvalósított irányítási

algoritmusból a beágyazott rendszerekben alkalmazható programkód generálható a megfelelő eszközök segítségével.

A szimulációs modell, ill. az általa biztosított szimulációs környezet, valamint az irányítási algoritmus fejlesztése nem sorrendi, hanem iteratív folyamat. Ez azt jelenti, hogy a fejlesztési iterációk jelentős része elvégezhető a szimulációs környezetben, majd, miután az ilyen módon fejlesztett irányítási algoritmus megfelelő viselkedést mutat szimulációs körülmények között, átültethető a járműbe épített beágyazott rendszerbe az említett módszerek alkalmazásával. A járműves mérések és tapasztalatok visszacsatolhatók a szimulációs környezet, ill. modell fejlesztésébe. A cél, hogy a fejlesztési iterációk ciklusainak a lehető legnagyobb hányadát a szimulációs környezetben tegyék meg, mivel ezáltal gyorsítható és olcsóbbá tehető az irányítási rendszer fejlesztése.



4.2.4. ábra Irányítási algoritmus modellalapú fejlesztésének folyamata

- [4,1] M. Csizmadia B. – Nándori E.: Modellalkotás, NTK, Budapest, 2003., 17-35p.
- [4,2] M. Csizmadia B. – Nándori E.: Mozcgástan, NTK, Budapest, 1997., 470-536p.
- [4,3] Zobory I.: Járművek és mobil gépek I., Budapest, 2010., 29p.
- [4,4] A. Albers – D. Herbst: Rupfen - Ursachen und Abhilfen, 6. LuK Symposium, 1998., 23-45p.
- [4,5] C. Duan – R. Singh: Transient responses of a 2-dof torsional system with nonlinear dry friction under a harmonically varying normal load, in: *Journal of sound and vibration*, vol.: 285., 2005., pp1223-1234.
- [4,6] M. Bataus et al.: Automotive clutch models for real time simulation, in: *Proceedings of the Romanian Academy Series A*, vol.:12/2., 2011. pp109-116.
- [4,7] P. Dolcini et al.: Improved optimal control of dry clutch engagement, *Proceedings of the 16th IFAC World Congress*, 2005.
- [4,8] Szendrő P. (szerk): Gépelemek I., GATE egyetemi jegyzet, Gödöllő, 1978., 219p.
- [4,9] Terplán Z. – Nagy G. – Herczeg I.: Mechanikus tengelykapcsolók, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966., 339-424p.
- [4,10] Szente M. – Vas. A.: Mezőgazdasági traktorok elmélete és szerkezete, FVM MGI, Gödöllő, 2004., 293-310p.
- [4,11] K. Küpper – B. Serebrennikov – G. Göppert: Software for automated transmissions, 14. LuK Symposium, 2006., 155-169p.
- [4,12] F. Vasca et al.: Modeling torque transmissibility for automotive dry clutch engagement, *American Control Conference*, 2008., 306-311p.
- [4,13] J. Kim – S. B. Choi: Control of dry clutch engagement for vehicle launches via a shaft torque observer, *American Control Conference*, 2010., 676-681p.

- [4,14] A. Lagerberg – B. S. Egardt: Evaluation of control strategies for automotive powertrains with backlash, *AVEC '02 International Symposium on Advanced Vehicle Control*, 2002.
- [4,15] Szabó I.: Rendszer és irányítástechnika, Műegyetemi Kiadó, 2001., 320-328p.
- [4,16] A. Serrarens et al.: Simulation and control of an automotive dry clutch, *American Control Conference*, 2004., Vol 5., 4078-4083p.

## 5. Összkerékajhajtási rendszerek, speciális váltóművek, kiegészítő hajtások

### 1.2. Az összkerékajhajtású gépkocsik jellegzetességei

Az összkerékajhajtású rendszerek járműszerkezeti alapegysége a differenciálmű, egy olyan bolygómű, amely lehetővé teszi a kerekek különböző fordulatszámú forgatását, és a hajtónyomaték elosztását. A nyomaték az egyszerű differenciálművekben kerekenként közel egyforma és ez a kerekek hajtásánál nem mindig előnyös. Az összkerékajhajtású fejlettebb rendszerek célja a hajtónyomaték kerekenkénti optimális elosztása.

#### 1.2.8. Hossz- és keresztirányú motorbeépítésű összkerékajhajtás változatok

A hosszanti motorbeépítésnél legtöbbször középső differenciálmű is van, mely szétosztja a nyomatékot az első és a hátsó futóművek között. Fékezés közben a nyitott középső differenciálmű dinamikailag kedvezőbb. A szabályozható hosszanti differenciálzár növeli a vonóerő nagyságát.

A kereszt irányú motorbeépítésnél a középső differenciálmű elhelyezési lehetősége korlátozott. Ezen autók jellemzője az úgynevezett „hang-on”, azaz kiegészítő hajtáslánc, mely szőghajtásból és rendszerint a hátsó futóműnél elhelyezett tengelykapcsolóból áll, melynek zárása automatikusan, vagy adaptív szabályozással működhet. Az utóbbi években egyre több autógyár alkalmazza ezt a hajtásláncot.



1.2.9. ábra: Az összkerékajhajtás alkalmazásának célja [5,1]

Az összkerékajhajtás többlet tüzelőanyag fogyasztással és nagyobb tömeggel jár



### 1.3. Mechatronikai rendszerű összkerékajtás rendszerek

#### 1.3.8. ZF elektrohidraulikusan önzáró kúpkerekes differenciálmű

A differenciálmű háza és az egyik féltengely közé lemezes tengelykapcsolót szerelnek be, melyet elektrohidraulikus módon lehet működtetni. A zárás fokozatmentesen történik és ha szükséges elérheti a 100%-ot is. A bekapcsolás elektronikusan történik az ABS kerékfordulatszám érzékelő jelei alapján. Az egyik kerék csúszásától függően egy vagy két munkahenger dugattyúival történik a lemezek összeszorítása. Ennek mértéke az elektronikus működtetés miatt már nemcsak a fordulatszám különbségtől, hanem több más dinamikai paramétertől is függhet. Így a legoptimálisabb menetdinamikai állapot valósulhat meg.

#### **A működtetési paraméterek:**

- A gépkocsi sebessége.
- A kormánykerék elfordítási helyzete.
- A gépkocsi gyorsulása.
- A gázpedál pillanatnyi helyzete.
- Bekapcsolt sebességfokozat.
- A hajtott kerekek közötti fordulatszám különbség.
- Fékezés.

Ez az egység együttműködhet az ABS és az ASR szabályozásokkal. Az első beépítése az Audi V8 automatikus sebességváltóval szerelt modelljébe történt.

#### 1.3.9. Powerlock II elektronikusan működő differenciálzár

A GKN fokozatmentes, elektronikusan működtetett differenciálzárat úgy alakították ki, hogy egyaránt alkalmazható legyen a tengelyek közé beépített középső differenciálműbe, valamint az első és a hátsó futóműbe szerelve is.

Elektromos állítómotor kis belső súrlódású mozgó mechanizmus segítségével a differenciálműbe beépített olajlemezes tengelykapcsolót zár.

A villanymotor két fokozatú fogaskerék áttétellel ékpályákkal ellátott emelő lapot fordít el, ami golyósor segítségével hozza létre az axiális működtető erőt. A 10 A-nél kisebb áramfelvételű villanymotort a differenciálmű közelében helyezik el. A jelentős mechanikai áttétel ellenére a működtetés reakcióideje kedvező. A differenciálzár oldása a villanymotor forgásirányának megváltoztatásával lehetséges. Nem szükséges visszaállító rugó.

#### **A záró hatás befolyásolható**

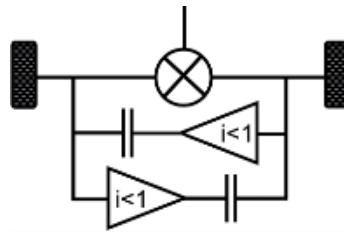
- A tengelykapcsoló lemezeinek méretével és számával.
- A fogaskerék áttétellel.
- A golyós emelőpálya meredekségével.
- A villanymotor nyomatékával.

Nyolc lemez párral például a differenciálzár 1600 Nm nyomatékot képes átvinni. Jól együttműködik az ABS rendszerrel, mert a fékpedál megmozdításától számított 100 ms-on belül nyitja a differenciálzárat, így nem befolyásolja hátrányosan az ABS működését. Az ABS kerékfordulatszám érzékelők jeleit használja fel. Működése közben az elektronika a gépkocsi sebességén kívül figyelembe veszi a féklámpa kapcsoló jelét, a kormánykerék elfordítását, a bekapcsolt sebességfokozatot. Elektronikus vezérlésénél figyelembe vehetők az autógyarak

speciális igényei is. Az érzékeny működtetés azt is lehetővé teszi, hogy első kerék hajtású autók differenciálművébe beszerelhető legyen. Zárási foka változtatható, emiatt személygépkocsiknál és terepjáróknál egyaránt alkalmazható.

### 1.3.10. Nyomaték áthelyezéssel differenciálmű

A futóműbe, a differenciálmű közelébe beépített egynél nagyobb áttételű jobb és bal oldalon egy-egy hajtómű egység és két, többnyire elektronikusan működtetett olajlemez tengelykapcsoló segítségével a hajtó nyomaték egy részét, a menetviszonyoktól függően az egyik, vagy a másik kerékre helyezi át. Ha az egyik futóműnél az egyik kereket ez a kiegészítő hajtómű egység gyorsítja, a gépkocsira az egy perdítő nyomatékot fejt ki és a hatása hasonló a kormányzáséhoz. Hasonló hatást fejt ki az ESP is, csak az egy kerék fékezésével teszi. Ezzel stabilizálja a gépkocsit úgy, hogy a vezető szándékának megfelelően fog haladni. A nyomaték áthelyező differenciálmű tehát az egyik kerék fékezése helyett, a másik kereket gyorsítja. A nyomaték áthelyezés, vagy más néven sport differenciálműnek is szokták nevezni, szorosan együttműködik az ESP rendszerrel. Több változatát is gyártják és sikerrel alkalmazzák a rally sportban. A nyomaték áthelyező hajtómű egységgel ellátott differenciálművet rendeltetésének megfelelően, gyakran sport differenciálműnek is szokták nevezni. Az Audi –nál például ez „drive select” rendszer részét képezi.



1.3.11. ábra: Nyomaték áthelyezéssel differenciálmű jelképes ábrázolása[5,2]

### 1.3.12. Olajlemez tengelykapcsolók alkalmazása az összkerekhajtásnál

Az összkerekhajtású személygépkocsiknál a visco technikát az olajlemez tengelykapcsolók alkalmazása követte. Az elektronika ezt a pillanatnyi menetállapotnak megfelelően tudja működteti és összkerekhajtásúvá válik a gépkocsi. Ehhez különböző érzékelők jeleit veszi figyelembe.

A tengelykapcsoló működtethető:

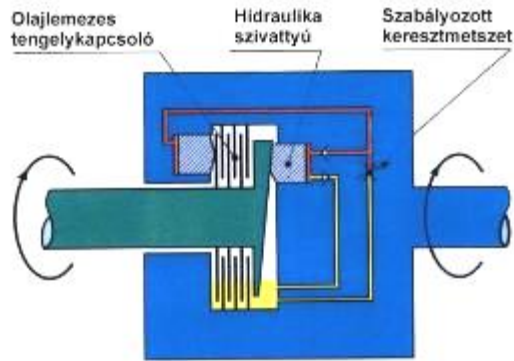
- hidraulikusan,
- villanymotorral, mechanikus áttételek közbeiktatásával.

Ez az olajlemez tengelykapcsoló a középső differenciálművet helyettesíti. Közvetlenül a hátsó futómű elé szerelik fel.

Amikor a gépkocsi első és hátsó kerekei között a különböző tapadási tényezők miatt fordulatszám különbség alakul ki, a lökettárcsa a görgők közvetítésével mozgatni kezdi az olajszivattyú gyűrű alakú dugattyúját. Az így létrejött olajnyomás egy csatornán keresztül a munkahenger dugattyújára hat és egymáshoz szorítja a tengelykapcsoló házba szerelt külső és belső lemezeket. A tengelykapcsolón keresztül nyomaték adódik át a hátsó kerekekre is. Az

olajlemez tengelykapcsoló által átvitt nyomatékot alapvetően az elektronikusan vezérelt fojtószelep helyzete határozza meg. Automatikus működéséhez a motor, a blokkolásgátló és a féklámpa kapcsoló elektromos jeleit használja fel az összkerékhajtást működtető elektronika. A bemeneti információk közül a legfontosabbak:

- a belsőégésű motor fordulatszáma,
- fojtószelep állása,
- a kerekek fordulatszáma,
- az ABS vagy az ESP aktív állapota.



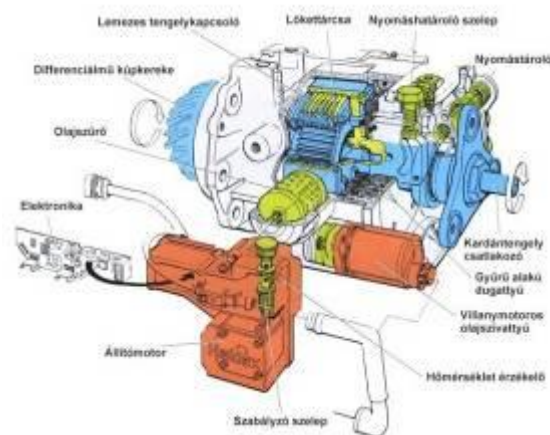
1.3.13. ábra: Haldex LSC első generációs változat hidraulikus működési elve [5,3]

#### 1.3.14. Haldex LSC korlátozott csúszású tengelykapcsoló

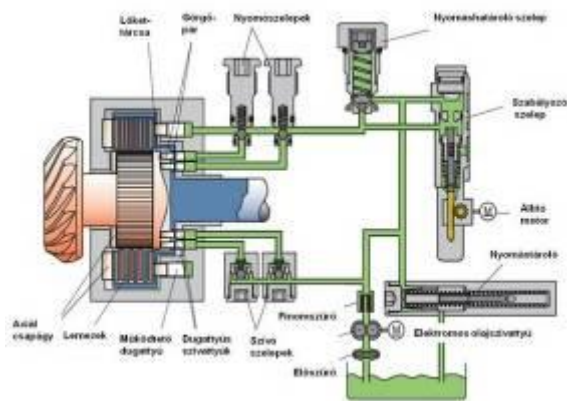
##### Az első generációs változat

Ez az összkerékhajtás a gépkocsi menetdinamikai állapotát figyelembe veszi a különböző érzékelők jelei alapján. Elektronikusan működteti az olajlemez tengelykapcsolót, mely megvalósítja az összkerékhajtást.

A Haldex LSC –t (Limited Slip Coupling) a korlátozott csúszású tengelykapcsolót A Haldex tengelykapcsoló a középső differenciálművet helyettesíti. Közvetlenül a hátsó futómű elé szerelik fel. A kardántengely forgatja a bemeneti tengelyt, a kimeneti a kúpkerek, mely a hátsó differenciálmű tányérkerekét hajtja.



1.3.15. ábra: Haldex LSC első generációs változat szerkezeti kialakítása[5,3]



1.3.16. ábra: Haldex LSC első generációs változat hidraulika rendszere [5,3]

### A Haldex tengelykapcsolós összkerekhajtás előnyei:

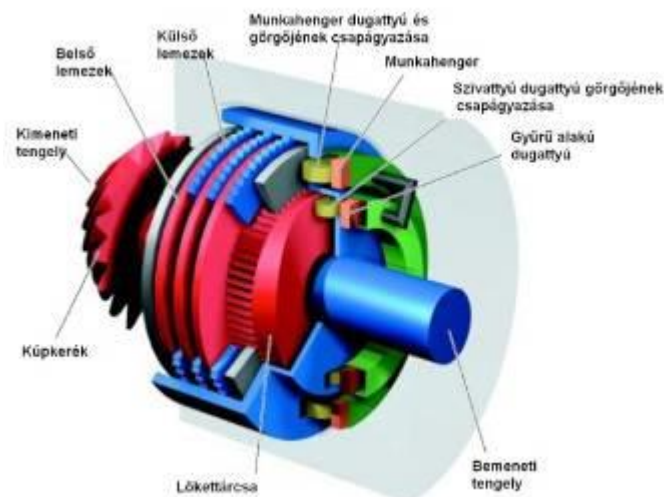
- a gépkocsi megtartja első kerék hajtású jellegét
- gyorsan reagál a menetviszonyok változásaira
- a hajtásláncban nem lép fel feszültség kis sebességű manőverezésnél
- nem érzékeny a különböző méretű kerekre (szükségpótkerék) és a hóláncre sem
- nem korlátozott a vontatás (például: megemelt első futómű)
- nem befolyásolja hátrányosan az ABS, EDS, ASR, EBV, ESP működését

### Működés

Ha az első és a hátsó kerekek fordulatszáma azonos, a lökettárcsával működtetett szivattyú nem szállít olajat. Fordulatszám különbség esetén viszont azonnal elkezdődik az olajszállítás, ami a tengelykapcsolót működtető munkahengerben nyomást hoz létre. Az olaj mennyiségét és nyomását egy az elektronika által működtetett fojtószelep állítja be. A felesleges olaj visszakerül a kiegyenlítő tartályba. Ha a hajtott kerekek kipörgése miatt nagy fordulatszám különbség alakul ki, akkor nagyobb a tengelykapcsolót működtető nyomás, ha a kerekek fordulatszáma csak kissé tér el, például kanyarban, akkor lényegesen kisebb nyomást hoz létre a szivattyú.

A szabályozó szelepet mozgató villanymotort közvetlenül a tengelykapcsoló házba szerelik be. Közös egységet alkot a Haldex elektronikával, mely azt feszültséggel látja el. Fogaskerék-fogasléc áttétel segítségével állítja be a nyomásszabályozó tolattyú helyzetét. Ezzel változtatja a lemezeket egymáshoz szorító nyomást.

Az olajtérben egy hőmérséklet érzékelőt is elhelyeznek. Ennek jele alapján tudja az elektronika kiegyenlíteni a viszkozitás változását. Ha a mért hőmérséklet nagyobb 100°C-nál a tengelykapcsoló oldja az összkerekhajtást. Ha a hőmérséklet 100°C alá csökken a tengelykapcsoló ismét bekapcsol, ha a menetviszonyok miatt ez szükséges.



1.3.17. ábra: Haldex LSC első generációs változat szivattyú, munkahenger és az olajlemez tengelykapcsoló elvi ábrázolása [5,3]

### Az elektronika

A Haldex LSC elektronikája CAN bus hálózaton keresztül adatátviteli kapcsolatban van a gépkocsi többi elektronikájával. A motor, az automatikus sebességváltó a fékrendszer és az összkerekhajtás közötti adatsere miatt a Haldex LSC nem igényel a működéséhez külön jeladókat. Ez alól csak az olajhőmérséklet érzékelő kivételével. A bemeneti információkat a tengelykapcsoló házára felszerelt elektronika dolgozza fel. Az adatok folyamatos elemzése révén a tengelykapcsoló működtetését a tényleges igénybevételnek megfelelően az elektronika végzi a vezető beavatkozása nélkül.

Az ABS elektronikától érkező kerékfordulatszám jelek alapján szabályzási folyamat során alakul ki a tengelykapcsolóval átvitt nyomaték, mely automatikusan alkalmazkodik a gépkocsi hajtásdinamikai állapotához. Ha például homokos talajon nagy gyorsulással indul a gépkocsi, akkor a tengelykapcsoló a lehető legnagyobb nyomatékot viszi át, hogy mind a négy keréken a lehető legnagyobb vonóerő valósulhasson meg. Kis ívű kanyarban, amikor a parkoló helyre állunk be a tengelykapcsoló teljesen nyitott, nem visz át nyomatékot, ami megkönnyíti a manőverezést. A Haldex LSC szabályozását nem befolyásolja, ha a gumibroncsok különböző mintázatúak és a gépkocsi vontatható akkor is, ha az egyik futóművet megemelték.

A Haldex fejlesztette ki az elektronikát, melyet a tengelykapcsoló házba építik be. Multichip modul technológiával (MCM) készült és így elviseli a szélsőséges hőmérsékleteket, a rezgést és a különböző szennyeződések. A fojtószelep a teljesen nyitott, illetve zárt állapot között a pillanatnyi helyzete határozza meg a tengelykapcsolón kialakuló nyomaték nagyságát. A szoftver alap-, és alkalmazástechnikai részből áll. A tengelykapcsoló működését az alapszoftver irányítja, az alkalmazástechnikai szoftver pedig a külső kapcsolatrendszer valósítja meg a gépkocsi kommunikációs rendszerével, mely lehetővé teszi az illesztést a különböző gépkocsi típusokhoz.

A Haldex LSC nagyon gyors működésű, mintegy 10 fokok kerék elfordulási szög után már beavatkozik, ha szükséges és megszünteti a kerékcsúszást. Kisebb kerék fordulatszámoknál is hasonlóan gyorsan reagál. A tengelykapcsoló 3-4 1/perc kerékfordulatnál már működésbe lép, függetlenül attól, hogy a be-, vagy a kihajtó tengely forog gyorsabban. A fordulatszám különbség függvényében az átvitt nyomatékot az alsó és felső szint között a fojtószelep helyzete határozza meg, de ennek nagysága a tengelykapcsoló részek egymáshoz képesti elfordulási szögétől is függ. A meredek felfutás miatt a kerekek nem pörögnek ki, mert a

tengelykapcsoló már akkor működésbe hozza az összkerékhajtást, amikor a gépkocsivezető még nem észlel kerécsúszást.



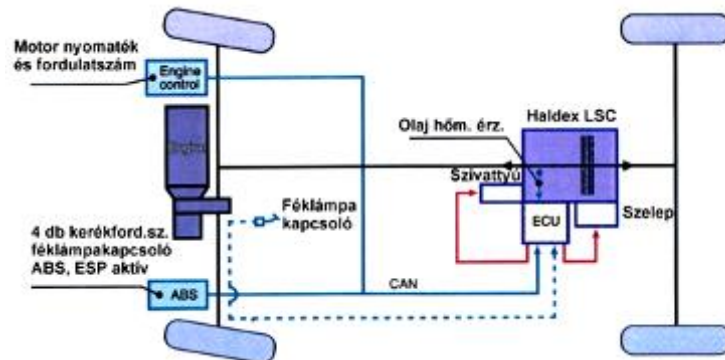
1.3.18. ábra: Haldex LSC hajtómű egységről elszertelt elektronika a szabályozó tolattyúval és részletei [5,3]

#### **Haldex tengelykapcsoló működése a gépkocsi különböző üzemi körülményei között:**

- **Parkolás**  
A tengelykapcsoló nem, vagy csak nagyon kicsi nyomatékokat visz át a kanyarodás könnyen, jelentősebb erő kifejtés nélkül végrehajtható.
- **Gyorsítás**  
A tengelykapcsolón nagy nyomatékokat visz át, így mind a négy keréken a lehető legnagyobb vonóerő alakulhat ki.
- **Nagy sebességű haladás**  
Csökkentett nyomatékvitelt
- **Haladás csúszós, nedves úton**  
A tengelykapcsoló működése kerécsúszás függő. Gyors működése a lehető legnagyobb vonóerőt támogatja, így növeli az aktív biztonságot.
- **Különböző gumibroncs mintázatok, illetve nyomások**  
A tengelykapcsoló működése közben az elektronika programja megállapítja a gumibroncsok közötti átmérő különbséget és ennek megfelelően módosítja a nyomatékvitelt.
- **Fékezés közben az ABS beavatkozik**  
A Haldex LSC azonnal érzékeli a blokkolásgátló beavatkozását és az átvitt nyomaték csökkentésével biztosítja annak kifogástalan működését.
- **Fékvizsgálat**  
A tengelykapcsoló addig nem működik, amíg a motor fordulatszáma egy bizonyos küszöbértéket nem ér el. Ezért a gyújtás bekapcsolását követően nem lép azonnal működésbe. A görgős fékpadi mérés a hagyományos berendezéseken is minden további nélkül végrehajtható.
- **Vontatás**  
Ebben az esetben sem működik a tengelykapcsoló, mivel a motor nem működik. Ha szükséges, akkor a gyújtást is be lehet kapcsolni.
- **ESP beavatkozás**  
A Haldex LSC azonnal érzékeli az elektronikus stabilizáló rendszer működését és nyomatékcsökkenéssel biztosítja annak zavartalan szabályozását.



## A Haldex LSC műszaki jellemzői:



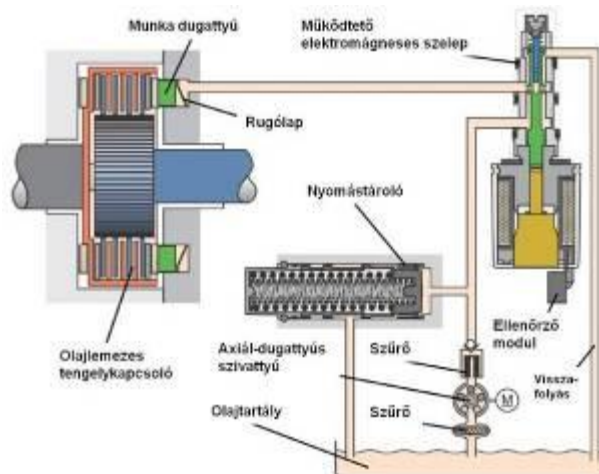
1.3.19. ábra: Haldex LSC CAN hálózati kapcsolatai[5,3]

## A Haldex LSC 4. generáció fontosabb jellemzői

Állandó, azonnali nyomaték átadás valósul meg a hátsó futómű felé is. Ez kiküszöböli az első kerékajtású viselkedést induláskor. Javítja a kerekek tapadást csúszós útfelületeken, mint például jégen, vagy nedves fűvön. Javítja a gépkocsi vezetési tulajdonságát, csökkenti az alulkormányzott viselkedést, különösen jó tapadású útfelületeken, mint például száraz aszfalton, betonon. Normális működés közben kis nyomaték veszteséggel működik. Gyorsan reagál a nagy kerékcúszásra. A reakció idő normál hőmérsékleten kisebb 80 ms-nál. Kedvezőbb a gépkocsi tüzelőanyag fogyasztása. Működés közben az átlagos áram felvétel kisebb 1 A –nél. A legnagyobb áramfelvétel kisebb 7 A-nél. A szerkezet teljes tömege 7,5 kg. Az átvitt nyomaték 1380 Nm.

További működési jellemzők:

- Továbbfejlesztett ESP kompatibilitás.
- A gépkocsi vontatható az első tengely felemelésével is.
- Használható szükség pótkerékkel.

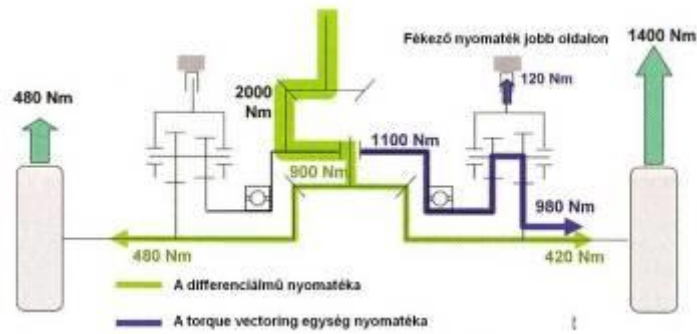


5.2.8. ábra: Haldex LSC IV generáció hidraulikus működtetése [5,3]

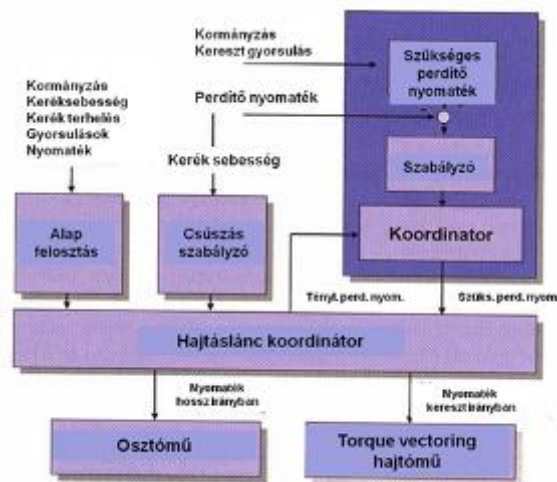
\*Ismertesse a Haldex LSC működését



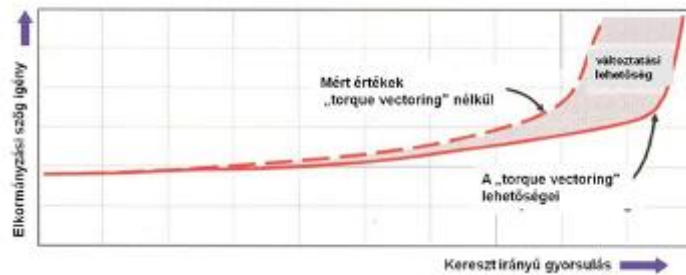
## ZF torque vectoring nyomatékáthelyezéses differenciálmű



5.2.9. ábra: A nyomték felosztása és a vonóerők kanyarban [5,4]



5.2.10. ábra: AZF Torque Vectoring-nál alkalmazott elektronika működésének blokkvázlata [5,4]



5.2.11. ábra: A ZF Torque Vectoring hatása a gépkocsi menetdinamikájára [5,4]

## Rövidítések, idegen szakkifejezések jegyzéke

Rövidítés	Kifejezés	Magyar elnevezés, magyarázat
4MOTION	4MOTION	VW összkerekhajtás, Haldex elektronikusan működtetett olajlemez tengelykapcsolóval
AAV	All Activity Vehicle	
ABS	Anti Blockier Redelung	Blokkolásgátló. Megakadályozza fékezés közben

		a kerekek csúszását.
ACD	Active Center Differential	aktív központi differenciálmű
ADB	Automatic Differential Brake	Automatikus differenciális fékezés. A differenciálzárat helyettesíti. (BMW az ASR egyik beavatkozása)
ADD	Automatic Disconnecting Differential	Automatikus működésű szabadonfutóval ellátott differenciálmű
ALB	Anti Lock Brake	Lásd ABS
ASC	Automatische Stabilitäts Control	Automatikus stabilitás kontrol
ASR	Antrieb Schlupf Regelung	Kipörgésgátló. Gyorsításkor megakadályozza a meghajtott kerekek kipörgését.
AYC	Active Yaw Control	Aktív perdítő nyomaték ellenőrzés
ARV	All Road Vehicle	Összkerékajítás
ASD	Automatische Sperrdifferential	A Mercedes-nél alkalmazott elektrohidraulikusan működtetett differenciálzár
AWD	All Wheel Drive	Összkerékajítású
CBC	Cornering Brake Control	
CC	Cross Country	
DBC	Dynamische Bremsen Control	Dinamikus fék kontrol
CDL	Center Diff. Lock	Középső differenciálmű zár
DPS	dual Pump system (Honda)	Kettős olajszivattyúval és olajlemez tengelykapcsolóval a kerékcsúszás függvényében működő összkerékajítás
DL	Differential Lock	Differenciálzár
DSC	Dynamic Stability Controll	Dinamikus stabilitás kontrol (BMW ABS/ASR)
EBM	Elektronisches Bremsenmanagement	Elektronikus fékmendezment
EDS	Elektronische Differential Sperre	Elektronikusan működtetett differenciálzár
ESP	Elektronische Stabilitäts Programm	Elektronikus stabilitásnövelő program. Menet közben bizonyos kerekek célzott fékezésével és a motor nyomatékának csökkentésével stabilizálja a gépkocsit.
eLSD		elektronikusan működtetett korlátozott csúszású differenciálmű
FT4WD	Full Time 4WD	Állandó összkerékajítás
ITC	Integrated Transfer Case	Daimler-Puch szabályozott zárású olajlemez tengelykapcsolós összkerékajítás hossz irányú motorbeépítés
	Geromatic	Daimler-Puch szabályozott zárású olajlemez tengelykapcsolós összkerékajítás kereszt irányú motorbeépítés
LSC (Haldex)	Limited Slip Coupling	Elektronikusan vezérelt csúszású olajlemez tengelykapcsolós összkerékajítás
HDC	Hill Descent Contol	Lejtmeneti kontrol
LSD	Limited Slip Differential	Korlátozott csúszású differenciálmű (csigakerekes differenciálmű)

MSR	Motor-schleppmoment-Regelung	Motor fékezónyomaték szabályozás. Csúszós úton megakadályozza a meghajtott kerekek csúszását a motorfék használata közben
	Powerlock II	Elektronikusan működő differenciálzár (gyártó GKN Automotive)
PSM	Porsche Stability Management (Porsche 911 Turbo)	A PSM rendszer részműködései: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ABS blokkolásgátló</li> <li>• ASR kipörgésgátló</li> <li>• MSR motor fékező nyomaték szabályozás</li> <li>• ABD (Automatisches Brems Differential) automatikus differenciális fékezés</li> <li>• ESP elektronikus stabilitás program</li> </ul>
RBC	Rotorblattkupplung	Forgólapos tengelykapcsoló Mazda összkerekhajtás olajlemez tengelykapcsolót automatikusan működtető egység

#### Hivatkozások:

- [5,1] Walter Schweizer Pkw Allrad Antriebe Krafthand Verlag  
[5,2] Paul Kratz, Felizian Krenn, Gerhard Spangenberg Kraftfahrzeuggewerbe Fachkunde Österreichischer Gewerbeverlag  
[5,3] Alfred Preukschat Fahrwerktechnik: Antriebsarten Vogel Buchverlag  
[5,4] Jürgen Stockmar Das große Buch der Allradtechnik Motorbuch Verlag

## 6. Hibrid-, hibrid-elektromos járművek, hajtásrendszerek architektúrája, szabályozása, menedzsmentje és energiaforrások

### 6.1. Hibridhajtás története

A gépkocsi történelmében mindig is jelen voltak a hibridjárművek. A XX. század derekán már jelentős szerepet töltött be a villamos hajtás. Ebben az időben több villamos hajtású járművet gyártottak, mint belsőégésű motorral ellátottat. A törekvés már akkor is megvolt a két meghajtás kombinálására.

A hagyományos belső égésű motorral (ICE) szerelt járművek jó teljesítményt és hosszú hatótávolságot biztosítanak, az üzemanyagaik nagy energiasűrűségének kihasználásával. Ugyanakkor, ezeknek a járművek a hátránya, hogy nem üzemanyag takarékosak, valamint környezetszennyezők is. A nagy fogyasztás fő okai, hogy

- [1.]a motor hatásfoka alacsony és üzemi tartománya nem a legjobb hatásfok mezőben van
- [2.]a fékezésnél keletkező kinetikus energiát nem nyerik vissza, ami főleg városi környezetben fontos,
- [3.] a sebességváltók alacsony részterhelési hatásfokkal üzemelnek

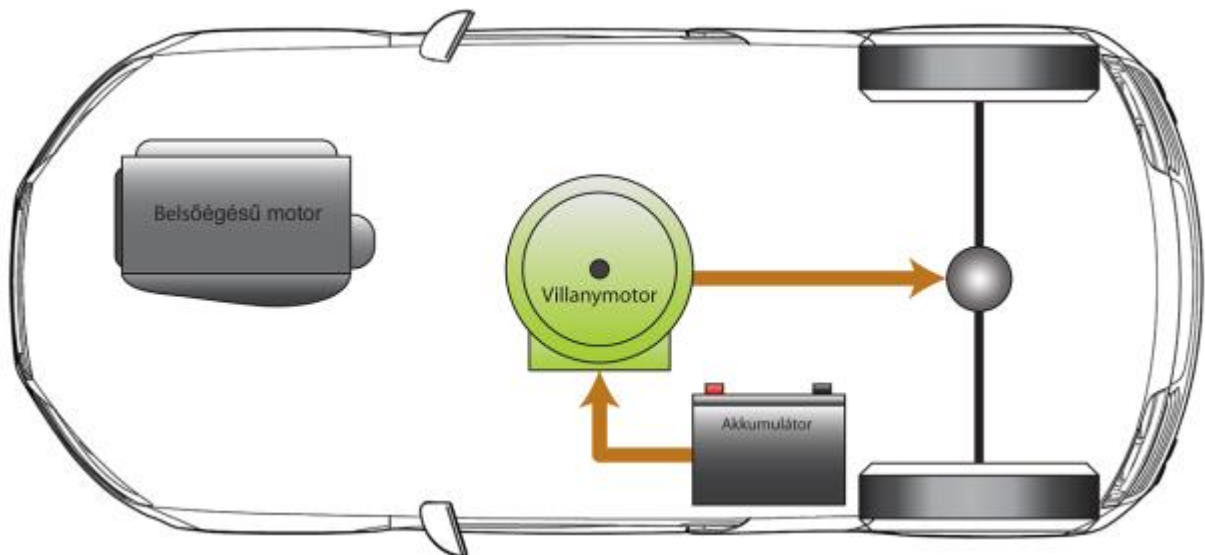
Az akkumulátorokkal hajtott elektromos járművek (EV) azonban olyan előnyökkel bírnak a hagyományos belső égésű motoros járművekkel szemben, mint a jobb energiahatékonyság és az üzem közbeni nagyon alacsony károsanyag-kibocsátás. Mindazonáltal a teljesítménymutatóik, főleg a töltésenkénti hatótávolság, jelentősen elmaradnak a belső égésű motoros járművektől, az akkumulátorok üzemanyagokhoz képest kisebb energisűrűsége miatt. A hibrid elektromos járművek (HEV), melyek két erőforrást használnak egy elsődleges és egy másodlagos erőforrást- elvileg ötvözik a belső égésű és az elektromos hajtás jó tulajdonságait, és kiküszöbölik a hátrányaikat. Ebben a fejezetben a hibrid elektromos járművek hajtásláncának felépítését és működését tárgyaljuk.

## 6.2. Üzem módok a hibridhajtásban

Az üzemmódtól és a nyomatékigénytől függően különbözőképpen járul hozzá a belsőégésű motor és a villamos gép a jármű hajtásához. A motorvezérlő egység dönti el a nyomatékelosztást a két hajtóegység között.

### 6.2.1. Tisztán villamos hajtás

Ez a funkció a fullhibrid járműveknél lehetséges. Ilyenkor csak a villamos gép hajtja meg a járművet, a belsőégésű motor leválasztásra kerül. A jármű csöndben, szinte hangtalanul és lokális emisszió nélkül közlekedik



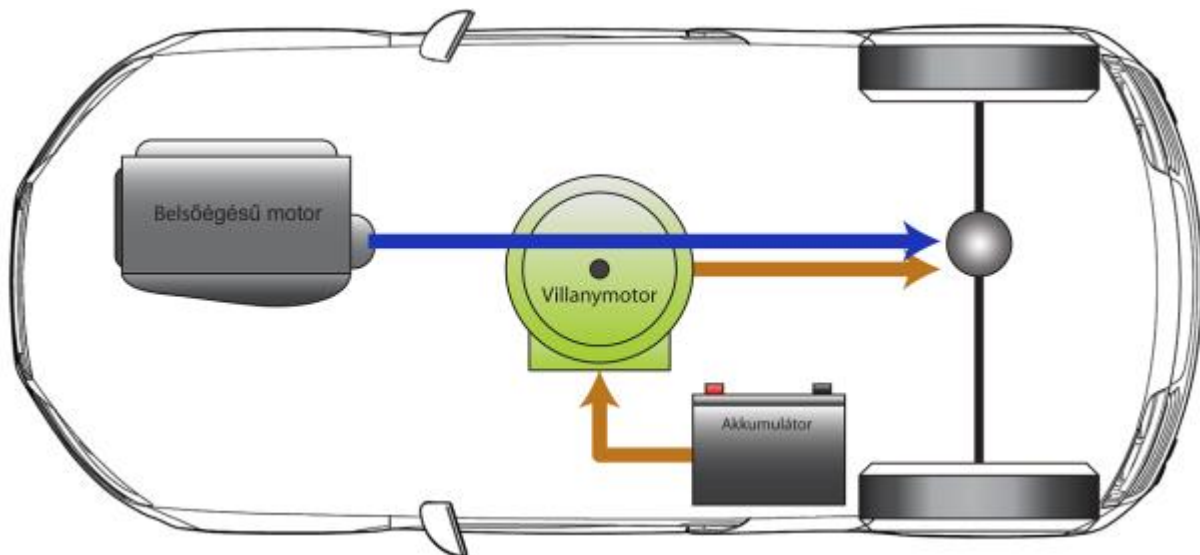
6.2.1. ábra: Tisztán villamos hajtás

#### 6.2.2. Hibrid üzemmód

A hibrid üzemmódba tartozik a belsőégésű motor és a villamos gép közösen szolgáltatja a szükséges forgatónyomatékokat a jármű hajtására (6.2.2. ábra: Villamos rásegítés). A nyomatékelosztáson kívül a vezérlőegység figyeli a káros anyag kibocsátást, az akkumulátor töltöttségi szintjét és az üzemanyag-fogyasztást is.

#### 6.2.3. Villamos rásegítés

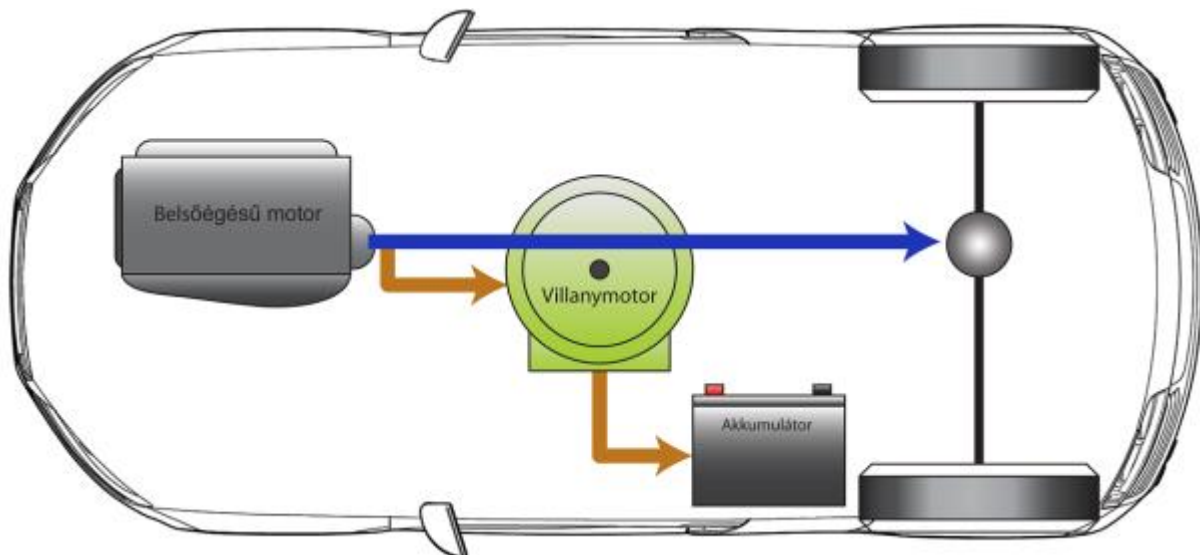
Villamos rásegítéskor a belsőégésű motor és a villamos gép forgatónyomatékokat szolgáltat a jármű megfelelő hajtásához. Ha hirtelen megnő a nyomatékigény a hibridvezérlő utasítást ad a villamos gépnek, hogy támogassa a belsőégésű motort pozitív nyomatékkal. Gyorsításkor a belsőégésű motor alacsonyabb fordulatszámánál kevesebb nyomatékokat szolgáltat, ilyenkor a villamos gép szolgáltatja a nagyobb nyomatékokat (6.2.2. ábra: Villamos rásegítés).



6.2.2. ábra: Villamos rásegítés

#### 6.2.4. Generátor üzemmód

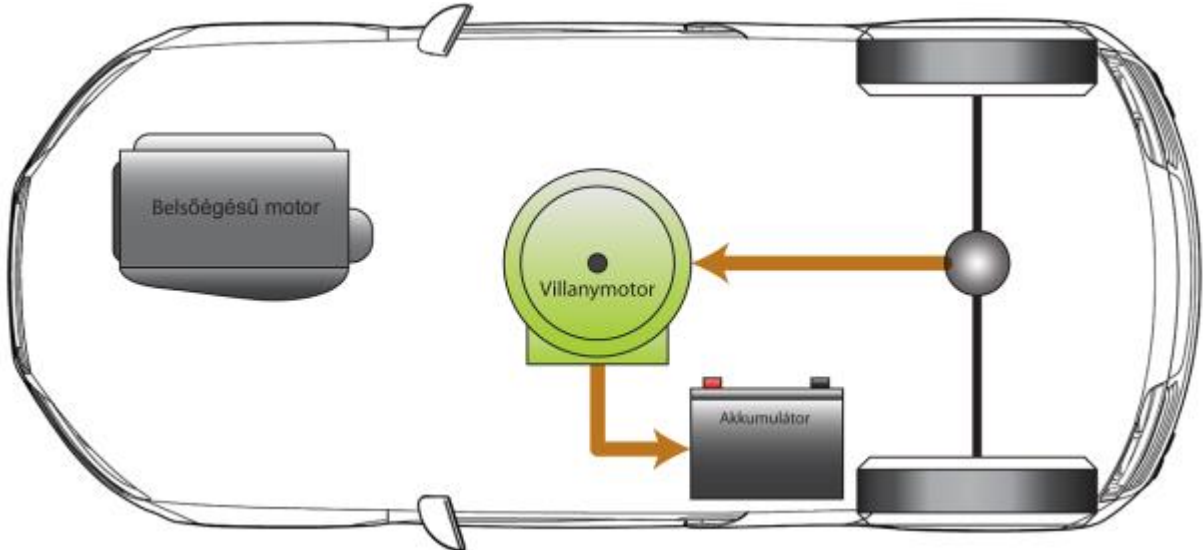
Az energiatároló egység töltése a következő képpen történhet. A belsőégésű motor a kerekek hajtása mellett, a villamos gépet is meghajtja, így generátor üzembe helyeződik. Másik lehetőség a fékezés során villamos visszatöltés a kerekek felől. A visszatöltés során a belsőégésű motor több forgatónyomatékokat szolgáltat, mint amennyi szükséges a jármű hajtásához. A többlet teljesítményt a villamos gép felhasználja az akkumulátorok töltésére (6.2.3. ábra: Járműhajtás és töltés üzemmód).



6.2.3. ábra: Járműhajtás és töltés üzemmód

A fékenergia visszatöltésnél nem vagy csak részben fékeződik az üzemi fékek hatására, ilyenkor a villamos gép fékezőnyomatéka lassítja a járművet. A villamos gép generátor

üzembe kapcsol és a jármű mozgási energiáját villamos energiává alakítja, amivel tölti az akkumulátorokat (Hiba! A hivatkozási forrás nem található.). A visszatápláló fékezést rekuperáló fékezésnek is nevezik.



6.2.4. ábra: Rekuperáló fékezés

### 6.3. Hibridizálás

#### 6.3.1. Start/Stop rendszer

A hibrid járművekben alkalmazzák főként a Start/stop funkciót, de csak belsőégésű motorral ellátott járművek is rendelkezhetnek ilyen rendszerrel. Feladata, hogy álló járműnél a belsőégésű motort automatikusan leállítsa. A leállítás létrejön, ha:

- a sebességváltó üres állapotban van,
- az ABS jeladó zérót jelez,
- az akkumulátor töltöttsége megfelelő szinten van.

Amint a járművezető a tengelykapcsolót benyomja, a megerősített indítómotor megforgatja a belsőégésű motor főtengegyét.

#### 6.3.2. Mildhibrid

A mildhibridek az alábbi funkciókkal rendelkeznek:

- Start/stop
- villamos gép által biztosított rekuperációs fékezés
- villamos rásegítés lehetőségével.

A villamos gép és a belsőégésű motor forgatónyomatéka összeadódik. Maximálisan 20kW kimenő teljesítményt tud biztosítani a villamos gép. Ezt a járműindulásnál és gyorsításnál használja.

A belsőégésű motor és a villamos gép együtt forognak mivel nem kapcsolható szét a két egység.



### 6.3.3. Fullhibrid

A fullhibrid tisztán villamos hajtásra is képes és ezekkel hosszabb távolságok megtételére is képes. Ilyenkor csak a villamos gép hajt, a belsőégésű motor nem működik. A villamos hajtás rendszer 200-350V-os feszültségen működik.

### 6.3.4. Plug-in hibrid

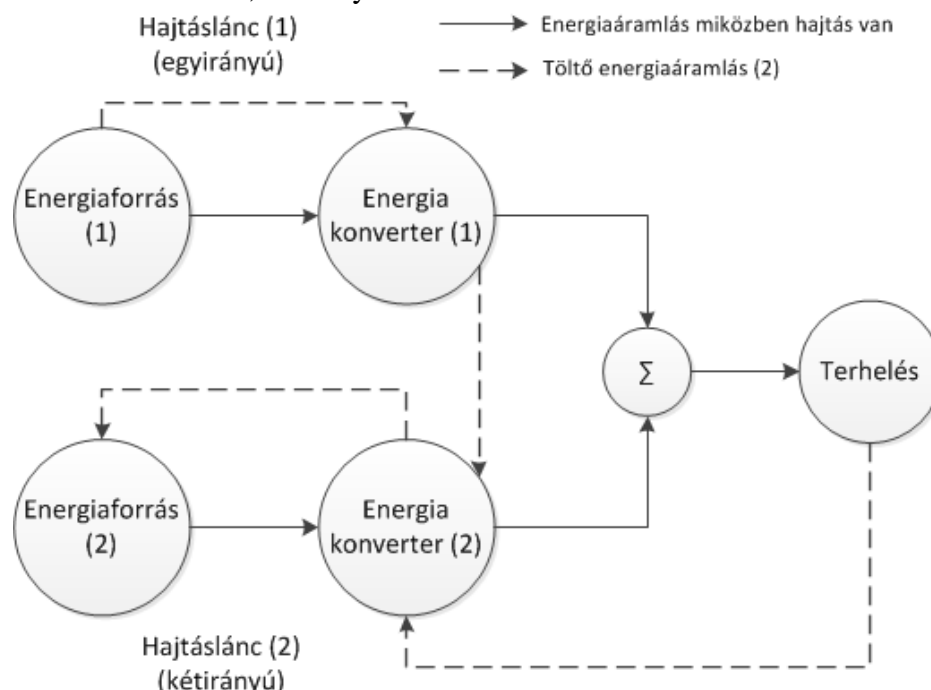
Plug-in, azaz a tölthető fullhibrid. Az akkumulátor pakk nem csak visszatáplálás révén belső hálózatról tölthető, hanem külső forrásból (például: hálózati csatlakozóból) is. A külső töltés speciális csatlakozón keresztül történik.

## 6.4. Hibrid-elektromos hajtásrendszerek architektúrái és szabályzásai

Alapvető követelmény egy erőátviteli berendezéssel kapcsolatban, hogy

1. biztosítsa a jármű hajtásához szükséges vonóerőt,
2. lehetővé tegye a jármű kívánt sebességgel való meghajtását

Lényegében egy járműnek lehet egynél több energiaforrása és energia-átalakítója úgy, mint benzin vagy dízelüzemű motor, hidrogén-üzemanyagcellás motor, akkumulátoros elektromos motor stb. Azt a járművet mely kettő vagy több energiaforrással és energia-átalakítóval rendelkezik, hibrid járműnek nevezzük. Az elektromos erőforrással rendelkező hibrid járművet nevezzük HEV-nek, azaz Hybrid Electric Vehicle-nek.



6.4.1. ábra: Hibrid elektromos jármű hajtáslánc koncepciója

Egy hibrid jármű hajtáslánca általában két erőforrással rendelkezik. Ennél több alkalmazása túlságosan bonyolítaná a rendszert. A fékezésnél keletkező energia visszanyerésének érdekében, mely a hagyományos belső égésű motoroknál hő formájában elvész, a hibrid hajtásláncoknál általában egy kétirányú energiaforrást és energia-átalakítót alkalmaznak. A

másik lehet egy vagy kétirányú is. A 6.4.1. ábra: Hibrid elektromos jármű hajtáslánc mutatja a hibrid hajtáslánc koncepcióját és az energia áramlásának lehetséges útvonalaait.

A hibrid hajtáslánccok a hajtó nyomatékot egy illesztett erőátviteli berendezés segítségével biztosítják. Sok lehetséges módja van az energia áramlás kombinálásának:

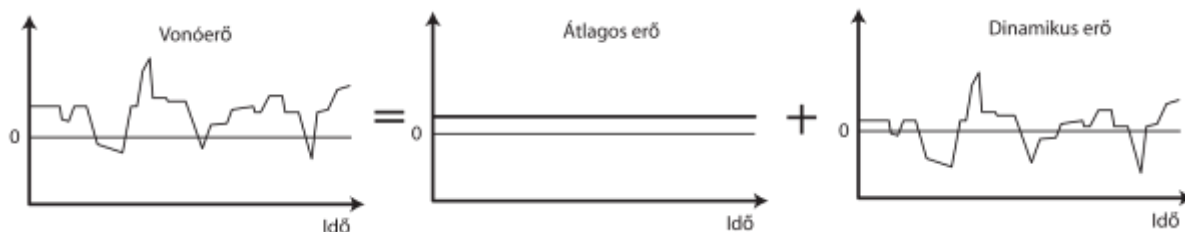
1. Az 1-es berendezés biztosítja a hajtóerőt
2. Az 2-es berendezés biztosítja a hajtóerőt
3. Az 1-es és 2-es berendezés együtt biztosítja a hajtóerőt
4. A 2-es rendszer energiát nyer fékezéskor
5. A 2-es rendszer energiát nyer az 1-es erőforrástól
6. A 2-es rendszer energiát nyer fékezéskor és az 1-es erőátviteli berendezéstől is
7. Az 1-es rendszer biztosítja a vonóerőt és energiával látja el a 2-es erőforrást
8. Az 1-es berendezés energiája a 2-es rendszerbe jut, ami pedig a vonóerőt biztosítja
9. Az 1-es berendezés biztosítja a vonóerőt, a 2-es pedig a mozgási energiát hasznosítja

Abban az esetben, ha a hibrid járműben egy folyékony üzemanyagú belső égésű motor (1-es berendezés) és egy akkumulátoros-elektromos motor (2-es berendezés) van, akkor az

1. egyik mód, hogy a jármű kizárólag a belsőégésű motor által hajtott. Ez akkor használatos, ha az akkumulátorok teljesen lemerültek, és a motornak nincs elegendő teljesítménye a feltöltésükhöz, vagy ha az akkumulátorok teljesen fel vannak töltve és a belsőégésű motor egyedül képes elegendő erőt biztosítani a jármű számára.
2. A második mód, a tisztán elektromos hajtású mód, melyben a belső égésű motor le van állítva. Ez akkor használatos, ha a belsőégésű motor nem képes hatékonyan működni, például nagyon kis sebességeknél, vagy olyan helyeken ahol a káros anyagok kibocsátása szigorúan tiltott.
3. A harmadik mód a hibrid hajtású mód, mely akkor használható mikor nagy teljesítményre van szükség, például hirtelen gyorsításokkor vagy meredek hegyen való haladáskor.
4. A negyedik mód a „visszatápláló” fékezési mód, melynél a kinetikus energiát az elektromos motor generátorként működve nyeri vissza. A visszanyert energia az akkumulátorokban tárolódik a későbbi felhasználásig.
5. Az ötödik módban a belsőégésű motor tölti az akkumulátorokat miközben a jármű egyhelyben áll, völgyemenetben halad vagy ereszkedik, mely esetekben nincs szükség vonóerőre.
6. A hatodik módnál a kinetikus energia visszanyerése és a belső égésű motor egyaránt töltik az akkumulátorokat.
7. A hetedik módban a belsőégésű motor egyszerre hajtja a járművet és tölti az akkumulátorokat.
8. A nyolcadik módnál a belsőégésű motor tölti az akkumulátorokat, az elektromos motor pedig hajtja a járművet.
9. A kilencedik módban az belsőégésű motor hajtja a járművet, a fékezést pedig a villamos gép végzi. Ennél a módnál legtöbbször a két hajtómű külön van szerelve az első és hátsó tengelyekre.

A változtatható üzemelési módok miatt a hibrid járművek nagyobb rugalmasságot tesznek lehetővé, mint az egy erőforrással rendelkező járművek. Pontos beállítással és irányítással, és minden üzemi szituációra a megfelelő mód alkalmazásával optimalizálható a teljesítmény, a hatékonyság és a károsanyag-kibocsátás. Mindazonáltal a gyakorlatban, a megfelelő mód kiválasztásánál sok tényezőt kell figyelembe venni, mint például a hajtáslánc fizikai összeállítását, az erőátvitel hatékonyságát stb.

Mindkét erőforrás optimális hatékonysággal való üzemeltetése elengedhetetlen a jármű hatékonyságának maximalizálásához. A belső égésű motor a legnagyobb hatékonysággal teljesen nyitott fojtószelepállásnál működik. Más beállítás esetén sokat romlik a hatékonysága. Ezzel szemben az elektromos motorok esetén nem olyan nagy a visszaesés, mint a belső égésű motoroknál.



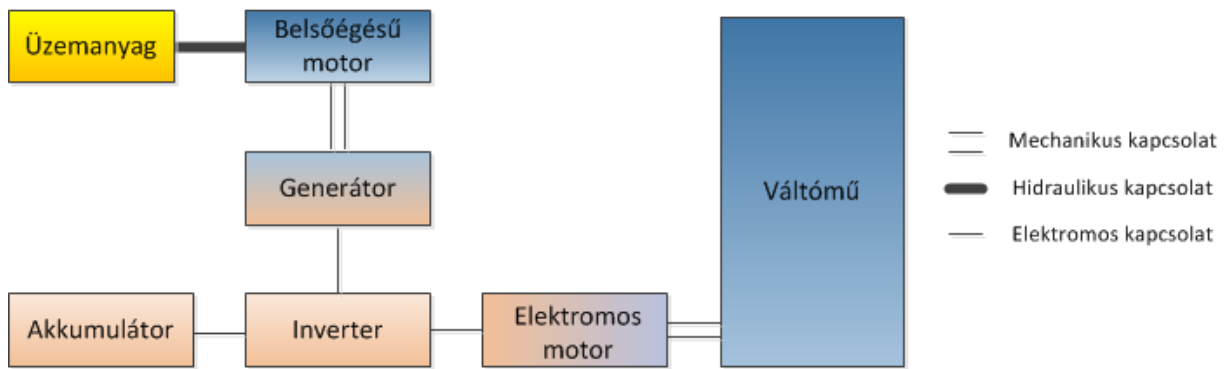
6.4.2. ábra: Vonóerő, dinamikus és statikus komponensekből

A jármű vonóereje üzem közben változik a gyorsulástól, lassulástól, kapaszkodástól vagy ereszkedéstől függően (6.4.2. ábra: Vonóerő, dinamikus és statikus komponensekből). A vonóerő két komponensből áll: az egyik változatlan (átlagos) erő, melynek állandó értéke van, és a másik a dinamikus erő, melynek átlaga nulla. A hibrid járműveknél az átlagos erőt egy olyan erőforrással lehet biztosítani, mely előnyben részesíti a folyamatos működést, mint a belső égésű motorok. Ezzel párhuzamosan más erőforrások, mint az elektromos motorok jól használhatóak a dinamikus erőszükségletek kielégítésére. Összességében a dinamikus energiaforrásnak az energia-kibocsátása nulla lesz egy ciklusban. Ez azt jelenti, hogy a dinamikus erőátvitel energiaforrása nem veszít energiakapacitásából a ciklus végére. Tulajdonképpen csak energiatárolóként szolgál.

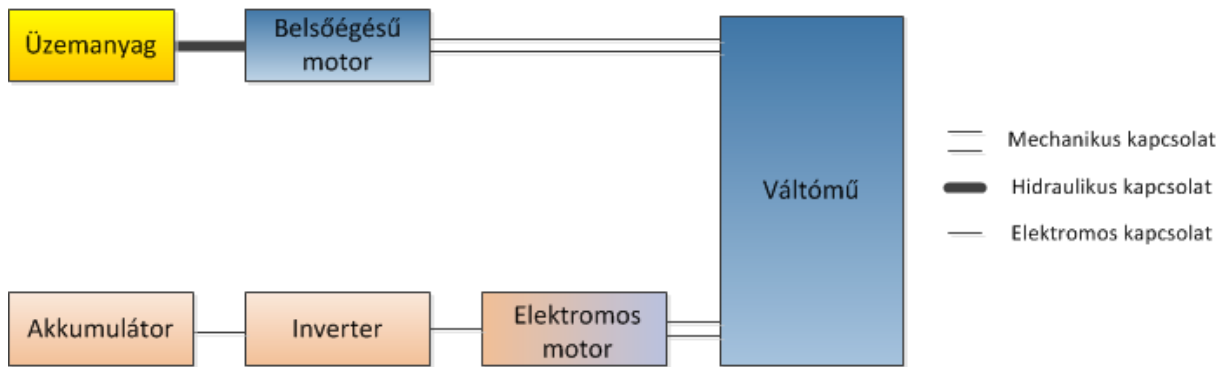
Egy hibrid járműben a változatlan teljesítményt biztosíthatja egy belső égésű motor, Stirling motor, üzemanyagcella stb. A belső égésű motor vagy az üzemanyagcella sokkal kisebb méretű lehet, mint egy-egy motorral szerelt jármű esetében, mert a dinamikus erőket a dinamikus erőforrás szolgáltatja, így folyamatosan üzemelhet a leghatékonyabb tartományban. A dinamikus erőket szolgáltatathatják elektrokémikus akkumulátorok által táplált elektromos motorok, ultrakapacitorok, lendkerekek (mechanikus akkumulátorok), valamint ezek kombinációi.

#### 6.4.1. A Hibrid Elektromos hajtásláncok felépítése

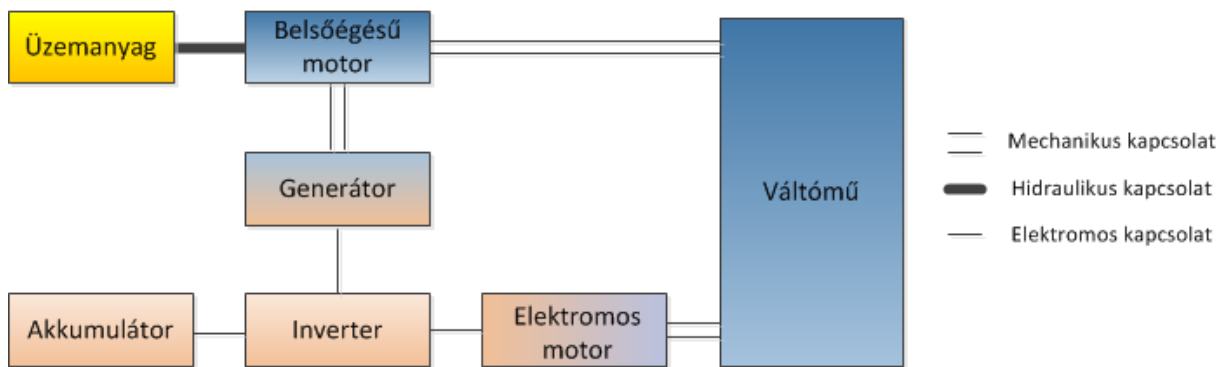
Egy hibrid jármű felépítése nagy vonalakban meghatározza a kapcsolat az energia áramlásának irányait meghatározó komponensek és az irányító portok között. Hagyományosan a „HEV”-ek két fő típusra bonthatóak: soros és párhuzamos. Érdekes lehet megjegyezni, hogy 2000-ben néhány újonnan bemutatott HEV egyik csoportba sem volt sorolható. Ezért a hibrid elektromos járműveket manapság négy csoportba sorolhatjuk: soros hibrid, párhuzamos hibrid, soros-párhuzamos hibrid illetve komplex hibrid (a következő ábrák mutatják be ezeket). Az ábrákon az üzemanyagtartály, belsőégésű motor, valamint az akkumulátor-elektromos motor párok adtak, mint példák az elsődleges (állandó) erőforrásra és a másodlagos (dinamikus) erőforrásra. Természetesen a belső égésű motor kicserélhető más típusú erőforrásra is, mint például üzemanyagcellára. Ugyanígy az akkumulátorok is kicserélhetőek ultrakapacitásokra, vagy lendkerekekre, esetleg ezek kombinációjára, melyeket részletesen tárgyalunk a következő fejezetekben.



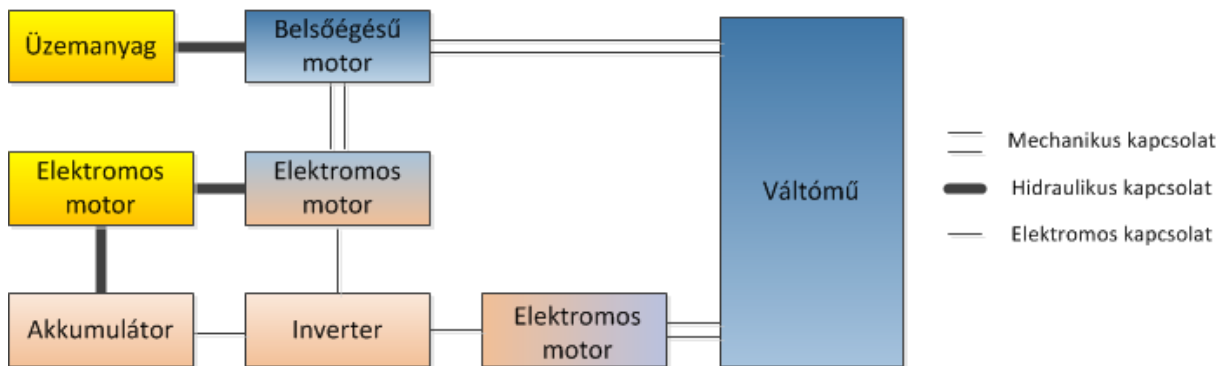
6.4.3. ábra: Soros hibrid



6.4.4. ábra: Párhuzamos hibrid



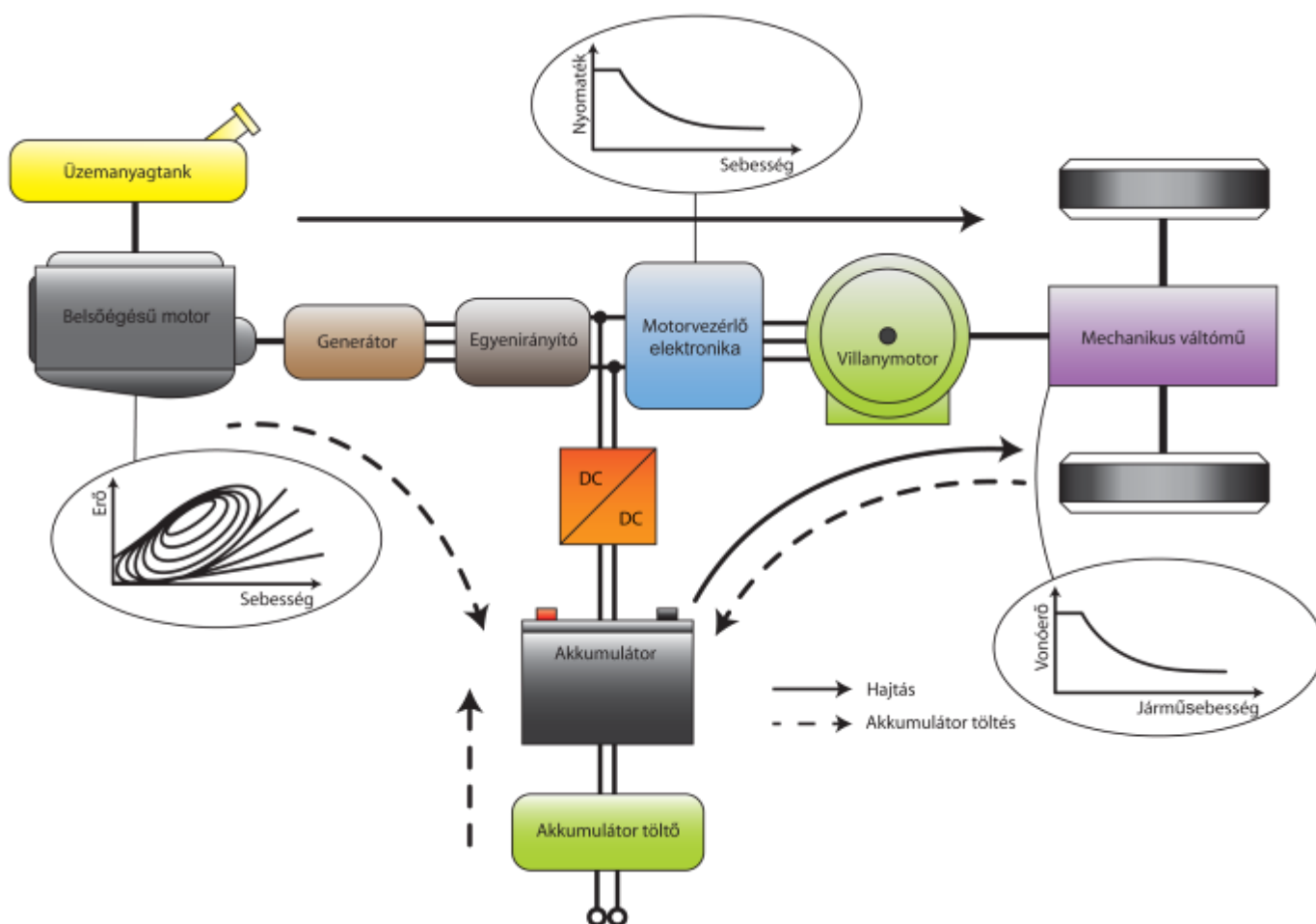
6.4.5. ábra: Soros - párhuzamos hibrid



6.4.6. ábra: Komplex hibrid

## 6.4.2. Soros hibrid-elektromos hajtásrendszer

A soros hibrid hajtáslánc egy olyan hajtáslánc melynél a két erőforrás egy hajtóművet táplálnak (villamos gép) mely a járművet hajtja. A legelterjedtebb soros hibrid hajtáslánc a 6.4.7. ábra: Soros hibrid-elektromos hajtáslánc látható. Az egyirányú energiaforrás az üzemanyagtartály, az energia-átalakító pedig egy belsőégésű motor, egy elektromos generátorhoz csatlakoztatva. A generátor kimenete egy elektromos-átalakítón átmenő buszhoz csatlakozik (egyenirányító). A kétirányú energiaforrás egy akkumulátor, mely egy elektronikus átalakítón (DC/DC konverter) keresztül csatlakozik a buszhoz. A busz ezen kívül csatlakozik még az elektromos motorvezérlő elektronika egységéhez is. A villamos gép használható erőforrásként vagy generátorként is, kétirányú nyomatékkal. Ehhez a hajtáslánchoz kellhet egy akkumulátortöltő is, mely az elektromos hálózatról tölti az akkumulátorokat, tehát Plug-in üzeme is van.



6.4.7. ábra: Soros hibrid-elektromos hajtáslánc

A soros hibrid elektromos hajtásláncnak a következő üzemi módjai lehetségesek:

1. Tiszta villamos hajtás: A belsőégésű motor le van állítva, a járművet csak az villamos gép hajtja.
2. Tiszta motorikus mód: A vonóerő kizárólag a belsőégésű motorból és a generátorból érkezik, míg az akkumulátorok nem biztosítanak számára, és nem is vesznek fel energiát a hajtáslánc felől. Az elektromos berendezések elektromos váltóként működnek a motortól a hajtott kerekekig.
3. Hibrid mód: A vonóerő mind a motorból, mind pedig az akkumulátorokból egyaránt érkezik.

4. Motorikus és akkumulátortöltő mód: A belsőégésű motor és a generátor szolgáltatja a vonóerőt, és közben tölti az akkumulátorokat is.
5. „Visszatápláló” fékezési mód: A belsőégésű motor és a generátor le van állítva, és a vontatómotor generátorként üzemel. Az így keletkező erő tölti az akkumulátorokat.
6. Akkumulátortöltő mód: A vontatómotor nem kap szerepet, a belsőégésű motor és a generátor tölti az akkumulátorokat.
7. Hibrid akkumulátortöltő mód: A vontatómotor és a generátor is az akkumulátorokat tölti.

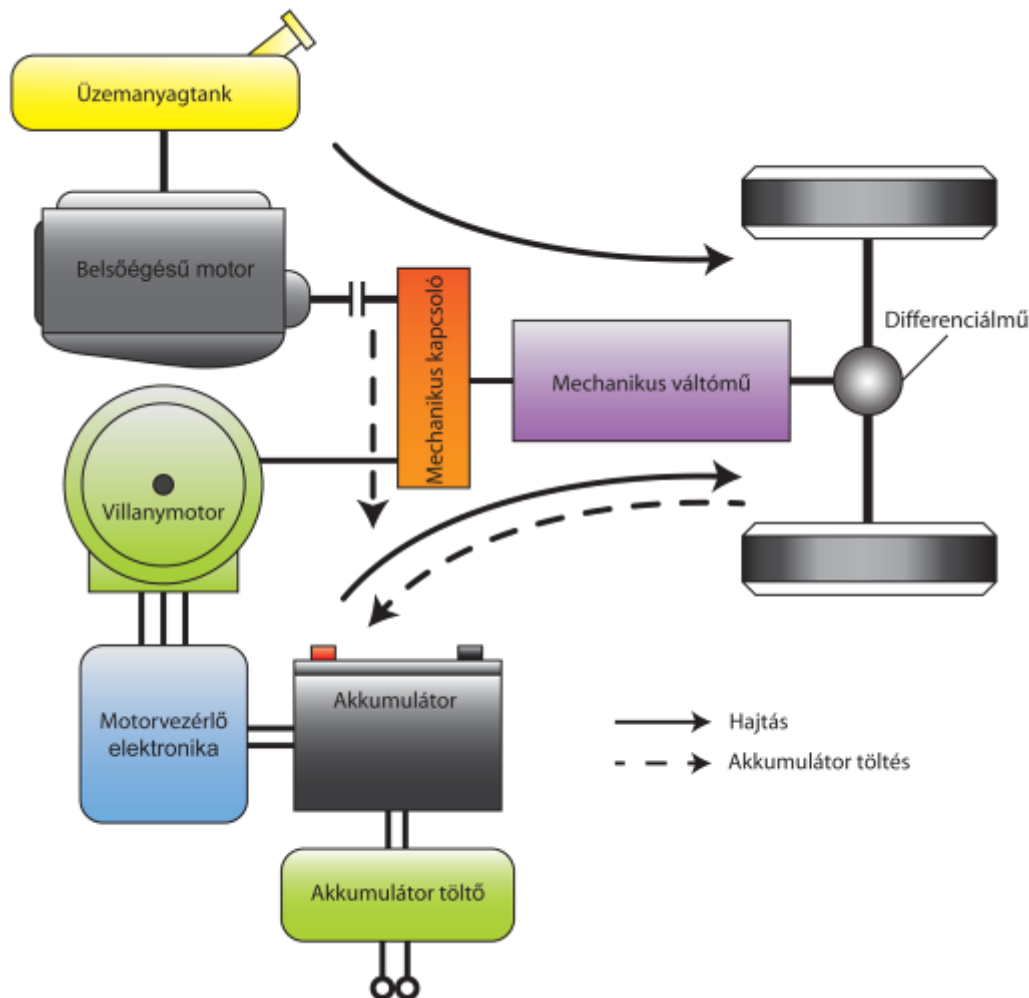
A soros hibrid hajtáslánc előnyei:

1. A belsőégésű motor a jármű hajtásigényétől függetlenül működik. Ezáltal a fordulatszám-nyomaték karakterisztikájának bármely tartományában üzemeltethető, és akár kizárólag a legnagyobb hatásfok közelében tartható. A motor hatásfoka és emissziója tovább javítható optimális tervezéssel és irányítással ebben a szűk tartományban. Ezen kívül a motor a hajtott kerekektől való elválasztása révén nagy fordulatszámú motorok használatát teszi lehetővé. Ez megnehezíti a kerekek mechanikus direkt hajtását, mint például a gázturbinák vagy hasonló hajtóművek esetében, illetve a Stirling motoroknál, ahol a vezérlési dinamika lassabb.
2. Mivel az elektromos motorok jármű hajtás szempontjából kedvező fordulatszám nyomaték karakterisztikával rendelkeznek, ezért nincs szükség több fokozatú sebességváltókra. Emiatt felépítésük egyszerűbb és olcsóbbak. Ezen kívül ahelyett, hogy egy motort és egy differenciálművet használnánk, két motort használhatunk úgy, hogy mindkettő egy kereket hajt. Ez sebességszétválasztást jelent a két kerék között, mint egy differenciálműnél, de korlátozott csúszású differenciálműként is működik, a kerekek kipörgésének megakadályozására. A legjobb verzió négy motort használna, így minden kerék hajtva lenne, differenciálművek és kardántengelyek bonyolultsága és költségessége nélkül.
3. Egyszerű irányítás használható, az elektromos váltómű által végzett, mechanikus szétválasztás miatt.

A soros hibrid hajtásláncoknak vannak hátrányai is:

1. A motorból érkező energia kétszer is átalakításra kerül, (mechanikusról elektromosra a generátorban és villamosból mechanikusra a vontatómotorban). A generátor és a vontatómotor hatásfoka szorzódik és a veszteség akár jelentős is lehet.
2. A generátor plusz súly és költség.
3. A vontatómotort úgy kell méretezni, hogy a maximális követelményeknek is megfeleljen, mert ez az egyetlen erőforrás mely a járművet hajtja.

#### **6.4.2.1. Párhuzamos hibrid-elektromos hajtásrendszer**



6.4.8. ábra: Párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc

A párhuzamos hibrid elektromos hajtáslánc olyan hajtáslánc, amely a motor nyomatékot mechanikus módon juttatja el a kerekekhez úgy, mint egy hagyományos belső égésű motoros járműnél. Egy elektromos motor segíti, mely mechanikusan kapcsolódik a váltóműhöz. A belsőégésű motor és az villamos gép nyomatékát egy mechanikus csatolás egyesíti (6.4.8. ábra: Párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc). A belsőégésű motor és a villamos gép mechanikai csatolása sok különböző beállításnak ad teret, melyeket később részletesebben tárgyalunk.

#### 6.4.2.1.1. Nyomatékösszegző hibrid-elektromos hajtásrendszer

**6.4.8. ábra:** Párhuzamos hibrid-elektromos hajtáslánc látható mechanikus csatolás lehet nyomaték vagy sebesség-összegzés. A nyomaték-összegzés a motor és az elektromos motor nyomatékát összeadja, vagy a motor nyomatékát két részre bontja: meghajtás és akkumulátortöltés. A 6.4.9. ábrán elméletben mutatja be a nyomaték-összegzést, melynek két bemenete van. Egyik a motorból a másik pedig az elektromos motorból. A mechanikus nyomaték-összegző kimenete a mechanikus váltóműbe megy.

Ha elhanyagoljuk a veszteséget, a kimeneti nyomaték és szögsebesség leírható:

$$T_{out} = k_1 * T_{in1} + k_2 * T_{in2}$$



és

$$\omega_{out} = \frac{\omega_{in1}}{k_1} = \frac{\omega_{in2}}{k_2}$$

ahol  $k_1$  és  $k_2$  konstansok, a nyomaték-összegzés paramétereit által meghatározva. A **6.4.10. ábra** a leginkább használatos mechanikus nyomaték-összegzők listája látható.

Többféle változata van a nyomaték-összegzéses hibrid hajtásláncoknak. Két csoportra bonthatók, egy, illetve kéttengelyes típusokra. Mindkét kategóriában a váltómű különböző helyekre tehető, és más áttételekkel tervezhető, mely eltérő vonókarakterisztikát eredményez. Az optimális tervezés nagyrészt az elvárásoktól függ, például a motor mérete és karakterisztikája, vagy az villamos gép mérete és karakterisztikája stb.



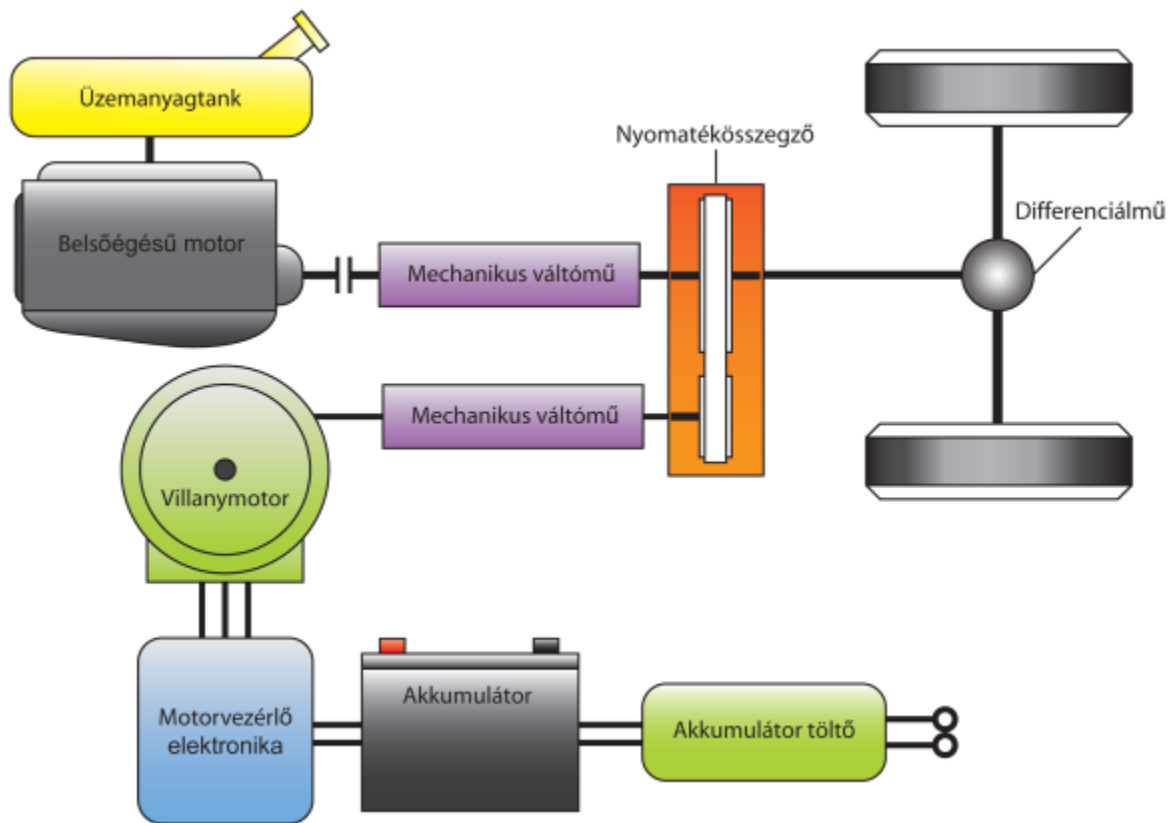
6.4.9. ábra: Nyomatékösszegzés az elméletben

$k_1 = \frac{z_3}{z_1}$ $k_2 = \frac{z_3}{z_2}$ <p><math>z_1, z_2, z_3 =</math> fogs számok</p>	
$k_1 = 1$ $k_2 = \frac{z_1}{z_2}$ <p><math>z_1, z_2 =</math> fogs számok</p>	

$k_1 = \frac{r_2}{r_1}$ $k_2 = \frac{r_3}{r_4}$ <p><math>r_1, r_2, r_3, r_4 =</math> ékszíjtárcsa rádiusza</p>	
$k_1 = 1$ $k_2 = \frac{z_1}{z_2}$ <p><math>z_1, z_2 =</math> ékszíjtárcsa rádiusza</p>	
$k_1 = 1$ $k_2 = 1$	

6.4.10. ábra: mechanikus nyomaték-összegzők

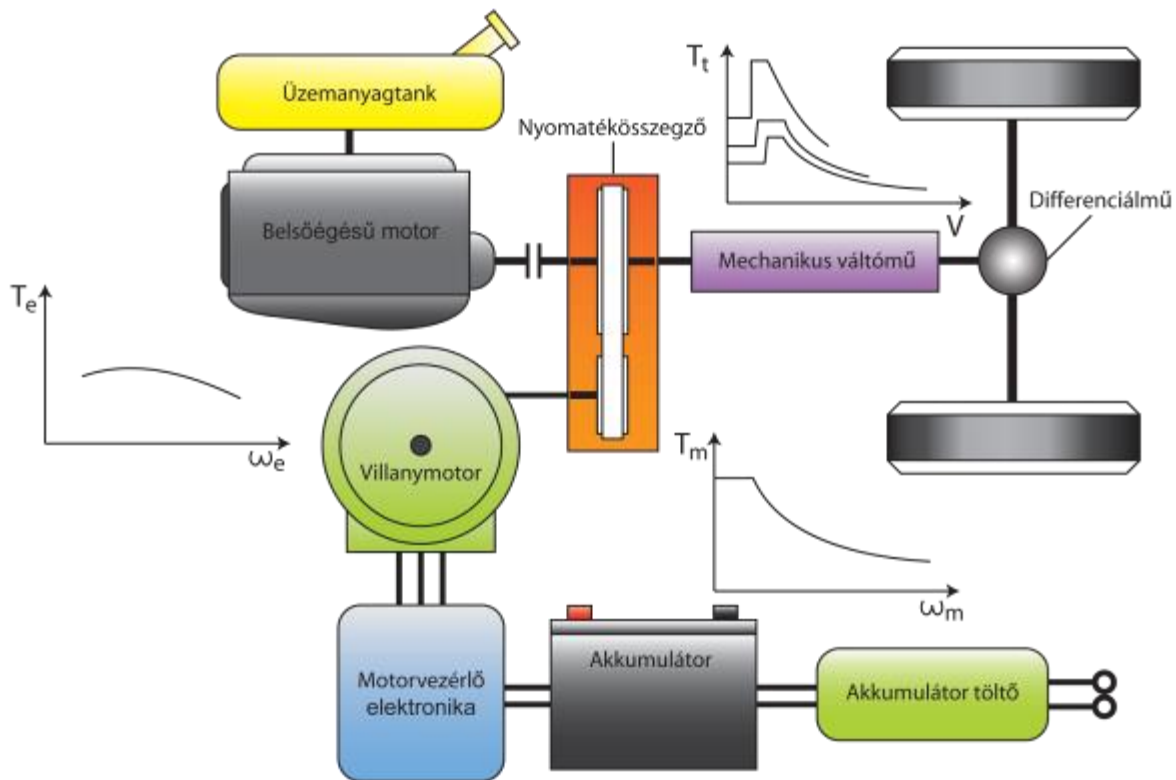
A 6.4.11. ábra: Kéttengelyes konstrukcióa két-tengelyes változatot mutatja be, ahol két váltóművet használunk: az egyik a belsőégésű motor és a nyomaték-összegző között helyezkedik el, a másik pedig a nyomatékösszegző és az villamos gép között kap helyet. Mindkét váltómű egy vagy többfokozatú. Egyértelmű, hogy a két váltó sok vonóerő profilt hoz létre. A hajtáslánc kihajtó nyomatéka sok féle és a hatékonysága kiemelkedő lehet, mert a két többsebességű váltó több lehetőséget teremt mind a motor mind az elektromos vontatórendszer (villamos gép és akkumulátor) számára, hogy az optimális tartományukban üzemeljenek. Ez a tervezés nagyobb rugalmasságot is biztosít a motor és az elektromos motor karakterisztikájának tervezésekor. Ugyanakkor két többsebességű váltómű nagyban megbonyolítja a hajtásláncot.



6.4.11. ábra: Kéttengelyes konstrukció

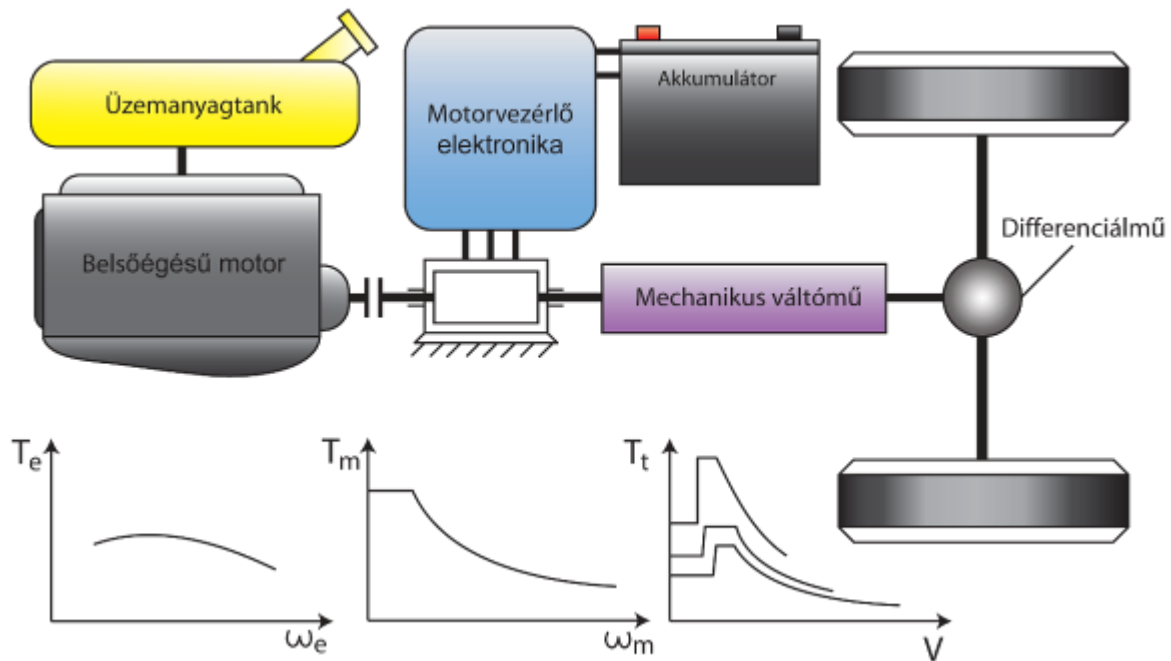
A 6.4.11. ábra: Kéttengelyes konstrukció alapján hajtóműként használható egy vagy több sebességes váltómű. Alapvetően a többfokozatú hajtómű a belsőégésű motorhoz az egyfokozatú a villamos motorhoz van kötve.

A sebességváltóként üzemelő hajtómű a belsőégésű motort illeszti a jármű hajtáshoz. Az általában lassító áttételű konstans áttételű hajtás a villamos motor méreteinek és leadott áramának a csökkentését teszi lehetővé, növelve a villamos hajtás hatásfokát.



6.4.12. ábra: Kéttengelyes konstrukció jelleggörbével

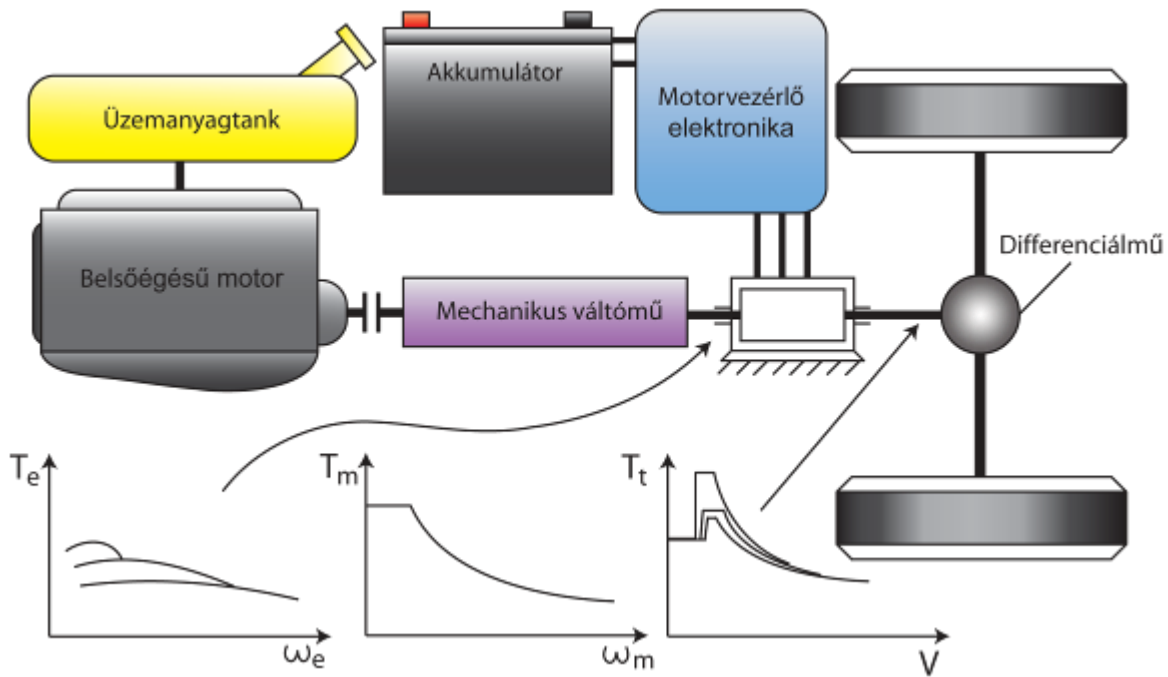
A párhuzamos hibrid hajtásláncok egy másik fajtáját láthatjuk az **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**, ahol a váltómű a nyomatékösszegző és a kardántengely között helyezkedik el. A váltó így a belsőégésű motor és az elektromos motor nyomatékát egyszerre viszi át. A nyomatékösszegzőbe tervezett áttétel biztosítja az elektromos motor számára, hogy más fordulatszám tartományban üzemeljen, mint a belső égésű motor; így egy nagy fordulatszámú motor használható. Ez az összeállítás akkor használható, ha relatív kis belsőégésű motor és elektromos motor van használatban, és egy többsebességű váltó szükséges a vonóerő létrehozásához alacsony sebességeknél.



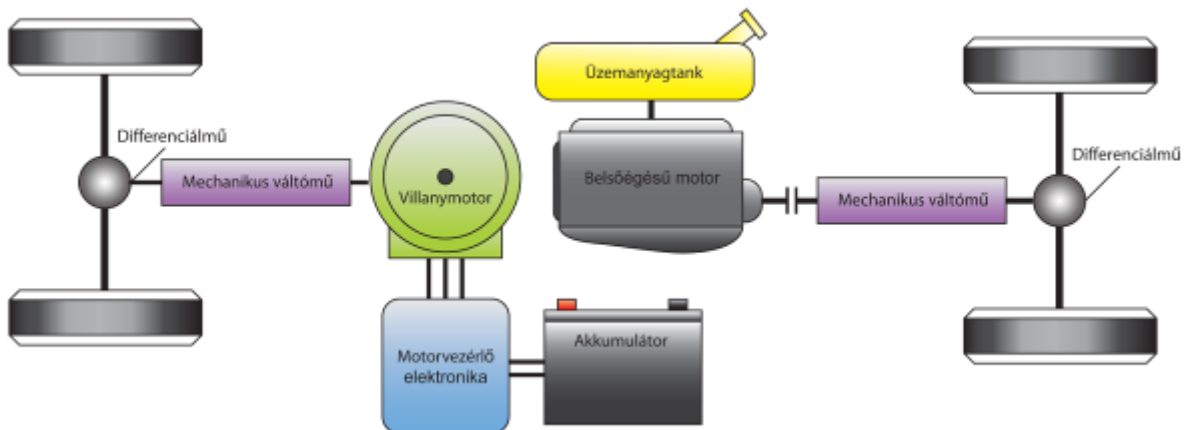
**6.4.13. ábra: „pretransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid**

A nyomaték-összegzős párhuzamos hibrid egyszerű és kicsi verziója az egy tengelyes konfiguráció, ahol az elektromos motor rotorja működik nyomaték-összegzőként ( $k_1=1$  és  $k_2=1$ ), ahogy a **6.4.13. ábra: „pretransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid** és **6.4.14. ábra: „posttransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid** látható. A váltó lehet az villamos gép után, mely így egy tengelykapcsolón keresztül csatlakozik a belsőégésű motorhoz, vagy lehet a belsőégésű motor és a villamos gép között. Az első az úgynevezett „pretransmission” (a motor a váltó előtt van, **6.4.13. ábra: „pretransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid**), utóbbi pedig ún. „posttransmission” (a belsőégésű motor a váltó után van, **6.4.14. ábra: „posttransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid**).

A „pretransmission” konfigurációban, a váltó mind a motor nyomatékát mind pedig az elektromos motor nyomatékát átalakítja. A két erőforrásnak azonos fordulatszám tartományban van. Legtöbbször kis belsőégésű motor esetén használják, úgynevezett gyenge hibrid hajtásláncként, ahol az elektromos motor a motor beindítására, elektromos generátorként, motor erő segédként és a fékezési energia visszanyerésére szolgál.



6.4.14. ábra: „posttransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid



6.4.15. ábra: Párhuzamos hibrid hajtás külön tengelyen

A „posttransmission” konfiguráció esetén (lásd 6.4.14. ábra: „posttransmission” egytengelyes nyomatékösszegző párhuzamos hibrid) a váltómű csak a belsőégésű motor nyomatékát tudja átalakítani, míg az elektromos motor nyomatéka egyből a hajtott kerekekhez megy. Ez a hajtáslánc akkor használatos, ha egy nagy elektromos motor sokáig egy tartományban üzemel. A váltó feladata csak az, hogy változtassa a motor használatát, ezzel növelve a jármű teljesítményét és hatékonyságát. Fontos megjegyezni, hogy az akkumulátorok nem tölthetők a motor által az elektromos motor generátorként való használatával, amikor a jármű egyhelyben áll és az elektromos motor közvetlenül a hajtott kerekekkel csatlakozik.

Az elválasztott tengelyes felépítés magában hordozza a hagyományos járművek néhány előnyét. A motort és a váltót változatlanul hagyja, és a másik tengelyre helyez egy elektromos rendszert. Ezen kívül négy kerék meghajtású lehet, mely csúszós úton nagyobb tapadást biztosít, és egy kerékre kevesebb vonóerőt juttat.

Hátránya, hogy az elektromos berendezések és az esetleges differenciálmű nagy helyet foglalnak, és így csökkentik az utasok és csomagok számára fenntartott helyet. Ez a probléma megoldható, ha a váltó egysebességes, és az elektromos motor helyét két kisebb elektromos

motor veszi át, melyek két kerékhez külön helyezhetőek el. Megjegyzendő, hogy az akkumulátorok nem tölthetők a motor által álló helyzetben.

#### 6.4.2.1.2. Fordulatszám összegző hibrid-elektromos hajtásrendszer

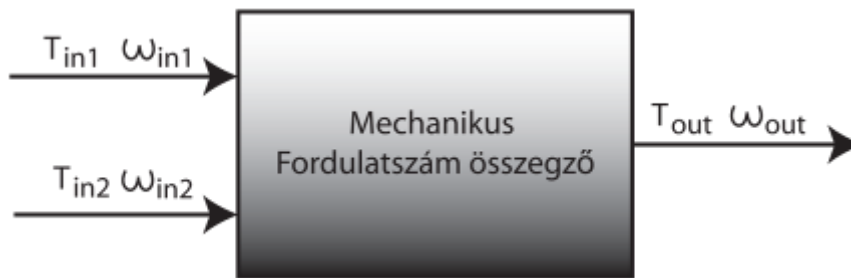
Két erőforrás ereje a sebességük összevonásával is egyesíthető. A sebesség-összegzés karakterisztikája leírható:

$$\omega_{out} = k_1 \omega_{in1} + k_2 \omega_{in2} \quad (5.3)$$

és

$$T_{out} = T_{in1}/k_1 = T_{in2}/k_2 \quad (5.4)$$

Ahol  $k_1$  és  $k_2$  konstansok, az aktuális tervezéstől függőek.



6.4.16. ábra: Sebesség összegző

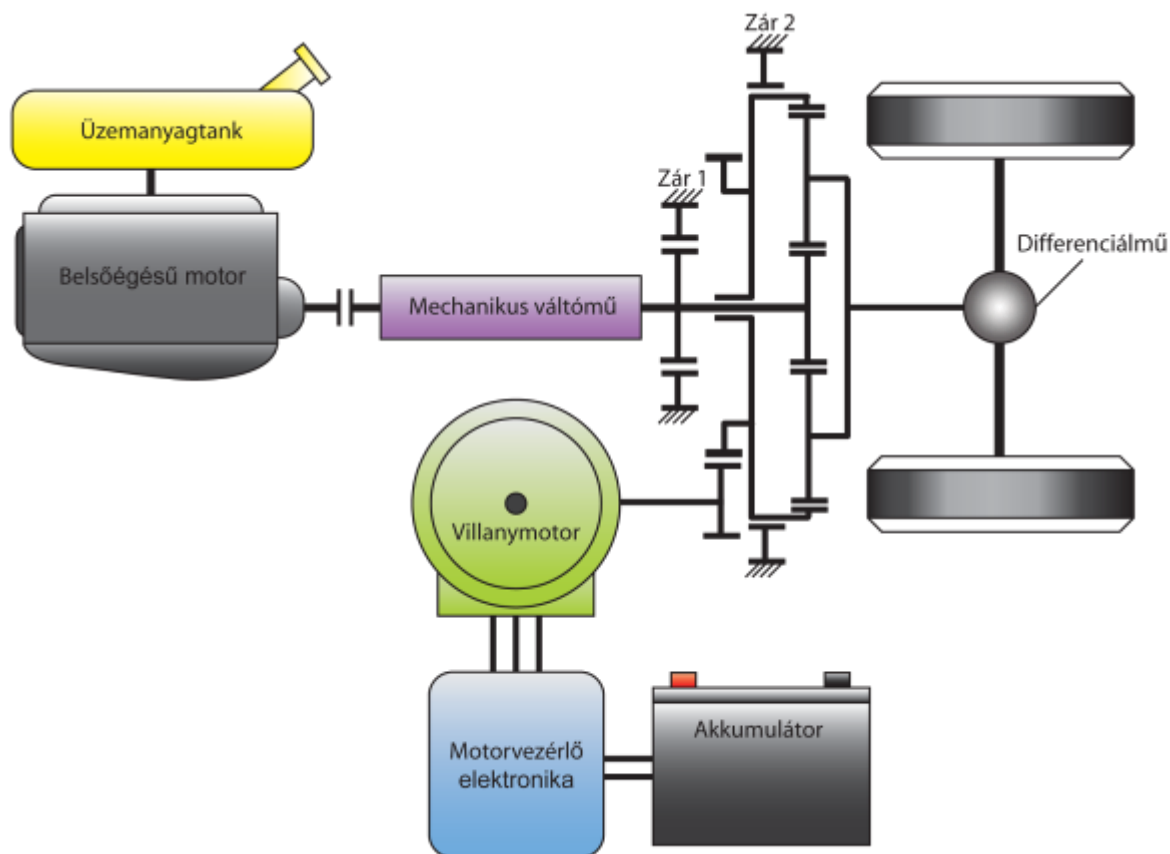
**A Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** két jellegzetes sebesség-összegző berendezést mutat be: az egyik egy bolygómű a másik pedig egy elektromos motor egy állórészrel, melyet „transmotor”-nak neveznek [5,1]. A bolygómű egy három részes egység, mely egy napkerékből (1), egy külső gyűrűből (2) és egy kengyelből (3) áll. Az elemek közötti nyomaték és sebességrelációk jelzik, hogy ez egy sebesség-összegző berendezés, melyben a sebesség, a napkerék és a külső gyűrű adódnak össze és a kengyelen át adják le az energiát. A  $k_1$  és  $k_2$  konstansokat a fogaskerekek mérete és fogainak száma határozzák meg.

Bolygómű	duálrotoros villamos gép (transmotor)
$\omega_3 = \frac{R_1}{2R_3} \omega_1 + \frac{R_2}{2R_3} \omega_2$ $k_1 = \frac{R_1}{2R_3}$	$\omega_r = \omega_s + \omega_{rr}$ <p><math>\omega_{rr}</math> – a relatív sebessége a forgó és állórésznek</p>

6.4.17. ábra: gyakori sebességösszegző berendezések



Egy másik érdekes berendezés a transmotor, melynél az állórész, mely általában a kerethez rögzített, egy kimeneti port. Másik két része a rotor és a légnyílás melyeknél az elektromos energia mechanikus energiává alakul át. A motor sebessége, a rotornak az állórészhez viszonyított sebessége. Az akció-reakció törvény miatt, a rotoron és állórészen lévő nyomaték mindig ugyanakkora, és konstansként:  $k_1=1$  és  $k_2=1$ .



6.4.18. ábra: Bolygóműves sebességösszegző rendszer

Ugyan úgy, mint a nyomaték-összegzéses berendezésekkel, a sebesség-összegző berendezésekkel is többféle hajtáslánc hozható létre. A motor nyomatékát a napkerékig egy tengelykapcsoló és egy sebességváltó közvetíti. (lásd **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**). A váltó átalakítja a belsőégésű motor sebesség-nyomaték karakterisztikáját a kívánalmaknak megfelelően. Az elektromos motor nyomatékát egy fogaskerék adja át a bolygómű-külsőgyűrűhöz. Különböző üzemi módok eléréséhez az 1-es és a 2-es fékkel (zárral) rögzíthető a napkerék és a külső gyűrű a jármű fix keretéhez. A következő módok lehetségesek:

1. **Hibrid hajtás:** mindkét fék nyitott állapotban van, akkor a motor és az elektromos motor is pozitív sebességet és nyomatékot szolgáltat a hajtott kerekeknek.
2. **Belsőégésű motorikus mód:** a 2-es zár a kerethez zárja a külső gyűrűt, az 1-es zár nyitva van, csak a motor szolgáltat nyomatékot a hajtott kerekeknek.
3. **Elektromos mód:** az 1-es zár a kerethez zárja a napkereket, (a motor le van állítva vagy a kuplung kikapcsolt állapotban van), a 2-es zár nyitva van és csak az elektromos motor szolgáltatja vonóerőt.

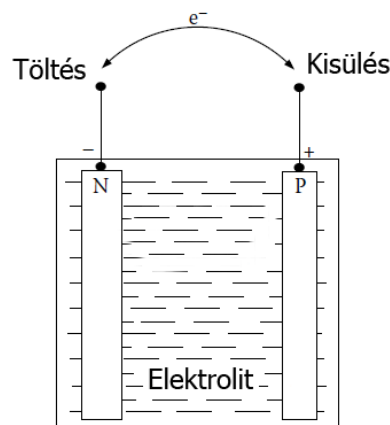
4. Az 1-es zár zárva van, a belsőégésű motor leállt vagy a kuplung leválasztja, az elektromos motor pedig energia visszanyerő módban van (negatív nyomaték). A jármű kinetikus energiája az elektromos rendszer által tárolható.
5. Akkumulátortöltő mód: ha az irányítás negatív sebességet ad meg az elektromos motornak, akkor az a motorból szerez energiát.

A sebesség-összegzéses hibrid hajtáslánc előnye, hogy a két erőforrás szétválasztott, így mindkettő szabadon választható. Ez az előny olyan erőforrásoknál fontos mint a Stirling motor vagy a gázturbinás motor, ahol a hatékonyság sokkal inkább a fordulatszámokon múlik és nem a nyomatékon.

## 6.5. Energiaforrások

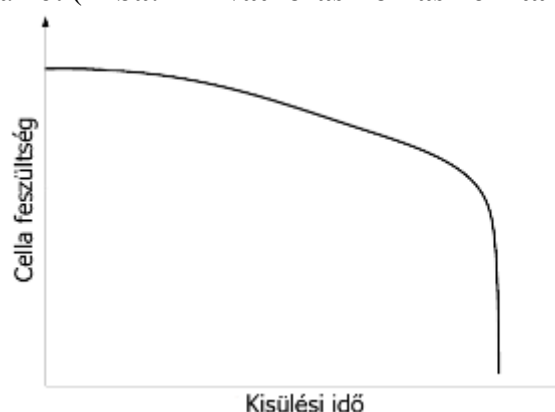
### 6.5.1. Elektrokémiai akkumulátorok

Elektrokémiai akkumulátorok, olyan elektrokémiai eszközök, amelyek kémiai úton elektromos energiát állítanak elő. Az akkumulátor több energia cellából épül fel. A cella egy független és teljes egység, amely elektrokémiai tulajdonságokkal rendelkezik. Alapvetően egy akkumulátor cella három főbb részből áll: két elektródát (pozitív és negatív) és az elektrolit, amibe az elektróda el van belemerítve.

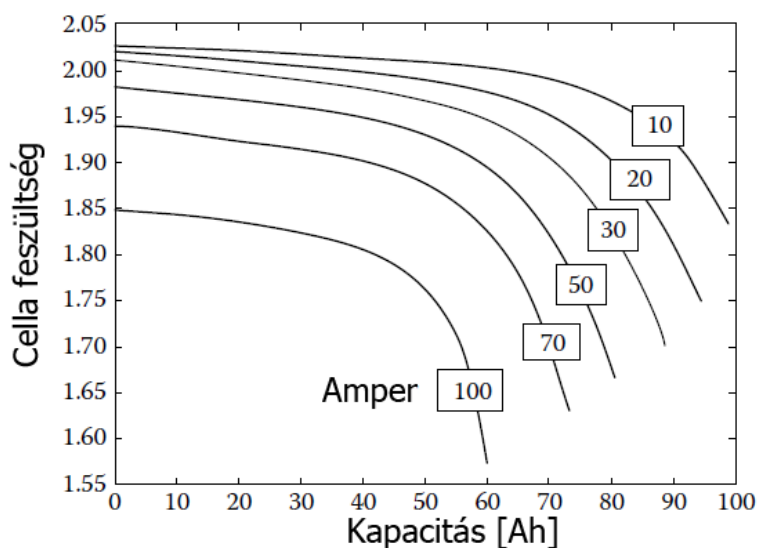


6.5.1. ábra: Akkumulátor főbb részei

Az akkumulátorgyártók meghatározzák az akkumulátor kapacitását (coulometriás, amperóra), és a kisütési diagramot (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**).



6.5.2. ábra: Kisülési feszültség esés



6.5.3. ábra: kisülési karakterisztika a savas akkumulátoroknál

Általában, kisebb kapacitásnál, nagy kisülési áram arány, amint a **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** is mutat. Az akkumulátorgyártók ezt az arányt adják meg a termékein. Például egy akkumulátor címéjén 100Ah a C/5 kisülési sebesség van feltüntetve.

- 100Ah kapacitás 5h kiáramlási sebességét (kisülési áram =  $100/5 = 20$  A).

Egy másik fontos paramétere az akkumulátornak a SOC (State Of Charge=töltöttségi fok). Az SOC a teljesen feltöltött kapacitáshoz viszonyított fennmaradó kapacitás aránya. Ezáltal egy teljesen feltöltött akkumulátort SOC értéke 100%-os, és egy teljesen lemerült akkumulátor SOC értéke 0%-os. Azonban, a "teljesen lemerült" akkumulátor néha okoz zavart, mert a különböző kapacitásoknak eltérő a kibocsátási aránya, és eltérő a kisülési cut-off feszültség (**Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**).

Az SOC változás egy időbenintervallum,  $dt$ , a kisülés és töltés áram „ $i$ ” lehet kifejezni

$$\Delta SOC = idt/Q(i),$$

ha  $Q(i)$  az amper órás akkumulátor kapacitása a jelenlegi ütemben  $i$ .

A kisülés,  $i$  pozitív, és a töltés,  $i$  negatív. Így, a SOC az akkumulátor lehet kifejezni, ha  $SOC_0$  a kezdeti értéke SOC.

$$SOC = SOC_0 - \int idt/Q(i),$$

A EV és HEVjárműveknél az energia kapacitást fontosabbnak tartják, mint a coulometriás kapacitás (amper-óra), mivel az közvetlenül a jármű működését befolyásolja.

Akkumulátor technológia	Energiasűrűség [Wh/kg]	Teljesítmény sűrűség [W/kg]	Hatásfok [%]	Ciklusszám	Önkisülés [%/48 óra]	Költség [USD/kWh]
Savas akkumulátor	35-50	150-400	>80	500-1000	0,6	120-150
Nikkel-kadmium	50-60	80-150	75	800	1	250-350
Nikkel-vas	50-60	80-150	75	1500-2000	3	200-400
Nikkel-cink	55-75	170-260	65	300	1,6	100-300
Nikkel-metal	75-95	200-300	70	750-1200+	6	200-350

hidrid						
Alumínium-levegő	200-300	160	<50	Nincs adat	Nincs adat	Nincs adat
Vas-levegő	80-120	90	60	500+	Nincs adat	50
Cink-levegő	100-220	30-80	60	600+	Nincs adat	90-120
Cink-bromid	70-85	90-110	65-70	500-2000	Nincs adat	200-250
Vanádium redox	20-30	110	75-85	Nincs adat	Nincs adat	400-450
Nátrium-kén	150-240	230	80	800+	Nincs adat	250-450
Nátrium-nikkel-klorid	90-120	130-160	80	1200+	Nincs adat	230-345
Lítium-vas-szulfid	100-130	150-250	80	1000+	Nincs adat	110
Lítium-ion	80-130	200-300	>95	1000+	0,7	200

#### 6.5.4. ábra Táblázat: akkumulátorok tulajdonságai

A **táblázat** bemutatja az elektrokémiai akkumulátorok tulajdonságait.

#### 6.5.2. Ultrakapacitások

Az EV és a HEV járművek gyakori start/stop műveletei miatt, az energiatároló kisütés és a töltés profilja igen változatos. Az energiatároló átlagos energiafelhasználásánál energiacsúcsok jelentkeznek, mint például gyorsítás, vagy hegyemenet, viszont vannak olyan helyzetek mikor visszatölthetünk az akkumulátorokba. Hogy megfelelő mennyiségű töltést használjunk, fel ultrakapacitásokat alkalmazunk. Az akkumulátorok egy lejtőn visszatáplált energiamennyiségének csupán egy részét képesek befogadni, míg a kapacitások nagy töltésmennyiséget tudnak raktározni rövid idő alatt. Természetesen ezt a töltésmennyiséget az energiacsúcsoknál használjuk fel. Így képesek vagyunk a csúcsokat „kisimítani”.

#### 6.5.3. Nagysebességű lendkerekek

Nem újdonság kinetikai energiát hasznosítani energiatárolásra. 25 éve a svájci Oerlikon Engineering Company készítette el az első személyszállító busz energiatároló lendkereket. A lendkerék 1500kg tömegű és 3000 percenkénti fordulató volt és az elektromos hálózatot táplálta, ha állt a jármű.

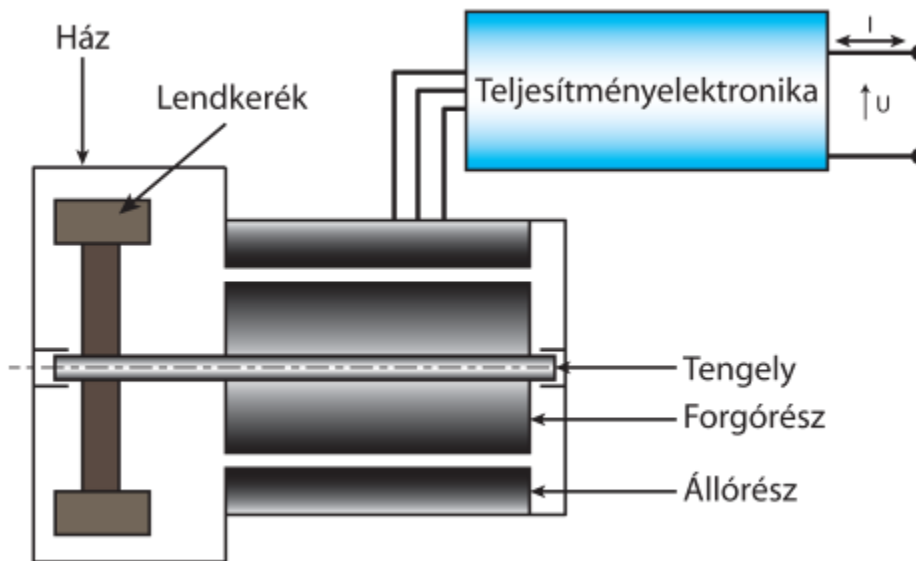
##### 6.5.3.1. Lendkerekek működési elve

A forgó lendkerék kinetikus energiát tárol

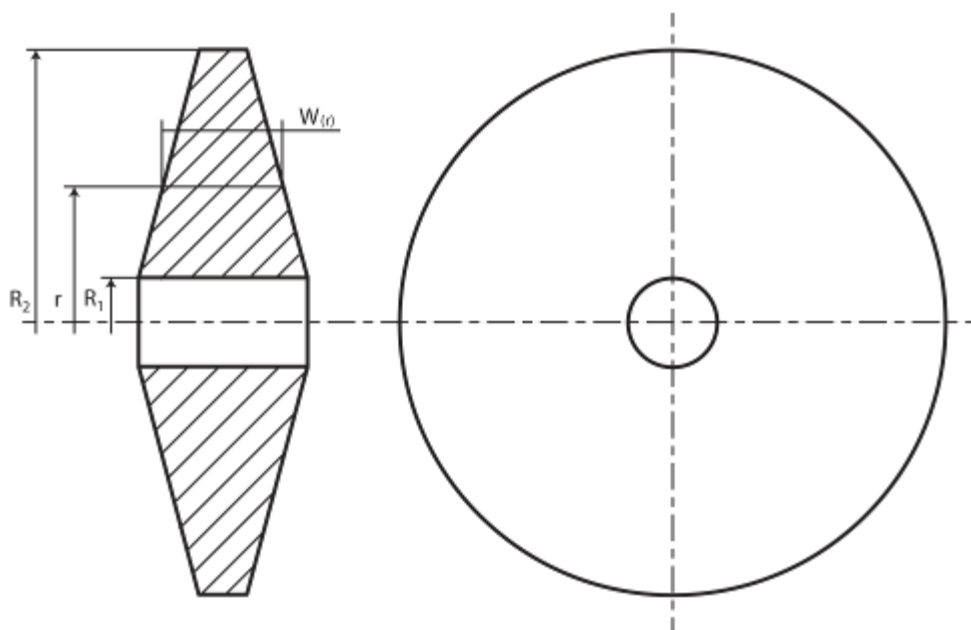
$$E_f = \frac{1}{2} * J_f * \omega_f^2,$$

ahol a  $J_f$  a lendkerék pillanatnyi tehetetlensége  $\left[\frac{kgm^2}{sec}\right]$ , az  $\omega_f$  a lendkerék szögsebessége  $\left[\frac{Radián}{sec}\right]$ . Az egyenlet azt mutatja, hogy a lendkerék szögsebességével, geometriájával és tömegével növelhető az energiakapacitás. Jelenleg egyes prototípusok 60,000 fordulat/perces fordulatszámmal forognak. A technika mai állása szerint, nehéz közvetlenül mechanikai energiát tárolni. A lendkerék meghajtásához szükséges egy fokozatmentesen változtatható váltómű, azaz CVT (continuous variation transmission) széles áttétel aránnyal. Általában használt megoldás, ha a villamos gép közvetlenül vagy áttétellel forgatja meg a lendkereket,

vagy táplálja vissza, ez az úgynevezett mechanikus energiatároló. A villamos gép, úgy működik, mint energia bemenet és kimenet, Átalakítja a mechanikai energiát villamos energiává vagy fordítva, ahogy a **6.5.5. ábra**: lendkerék elvi ábra is mutatja.



6.5.5. ábra: lendkerék elvi ábra



6.5.6. ábra: tipikus lendkerék geometriája