



VIZSGABIZTOS KÉPZÉS

09_3. Intelligens futóművek

Kádár Lehel

Budapest, 2012.

1. Alapfogalmak

Ebben a fejezetben a futóművek fogalmát és tartalmát tágabban értelmezzük az alaptanfolyam tananyagához képest. A komplett kerék, a felfüggesztés, a rugózás mellett a kormányzás rendszerének intelligens változatait együttesen tárgyaljuk. A kormányzás intelligens szabályozása a kormánygeometrián túl a kerékfelfüggesztés kinematikáját is befolyásolja elsősorban a kerékösszetartás dinamikus változásán keresztül.

Az intelligens futóművek elnevezésére a szakirodalomban leggyakrabban két változatot találunk:

- a) IDS - Intelligent Driving System
- b) ISS – Intelligent Steering System

A két megjelölés használata leginkább divat kérdése, a konkrét tartalmat az adott futómű és kormányrendszer funkciójának és szerkezeti kialakításának elemzése alapján lehet megjelölni.

Általánosságban egy futóműt vagy kormányrendszert csak akkor minősíthetünk IDS vagy ISS jelzővel, ha annak a legjellemzőbb kinematikai vagy dinamikai paraméterei változnak a jármű menetbiztonságának vagy utazási kényelmének követelményei szerint.

Egy – egy korszerű futómű elnevezésére vagy minősítésére általában két vagy több hárombetűs kódot használnak. A második és a többi kód megjelöli azt a részrendszert, amelyre az intelligens vagy más elnevezéssel az interaktív szabályozás irányul.

Például:

- IDS – intelligens futóművet jelöl,
- IDS ABC – intelligens futómű, amelyik aktív felépítmény szabályozással (Active Body Control) rendelkezik,
- IDS ABC CDC – intelligens futómű, mely folyamatos lengéscsillapító szabályozással (Continuous Damping Control) valósítja meg a felépítmény aktív szabályozását,

- IDS ABC CDC ASS – intelligens futómű, amely folyamatos lengéscsillapító szabályozással befolyásolja a felépítmény relatív mozgását és additív kormányrendszerrel (Additív Steering System) rendelkezik.

2. Intelligens szabályozások jellemzése, nemzetközi jóváhagyásuk

A futóművek intelligens minősítése a blokkolásgátló rendszerrel kezdődött, mely 1979-ben kapott hivatalos, világszintű minősítést. Az elmúlt három évtizedben az intelligens rendszerek számos típusát fejlesztették ki, ezek különbözőképpen járultak hozzá a közúti járművek menetbiztonságának, utazási kényelmének jelentős javításához.

A legismertebb intelligens szabályozások jelölései, elnevezései, tartalma és a nemzetközi jóváhagyásának éve az alábbi táblázatban látható.

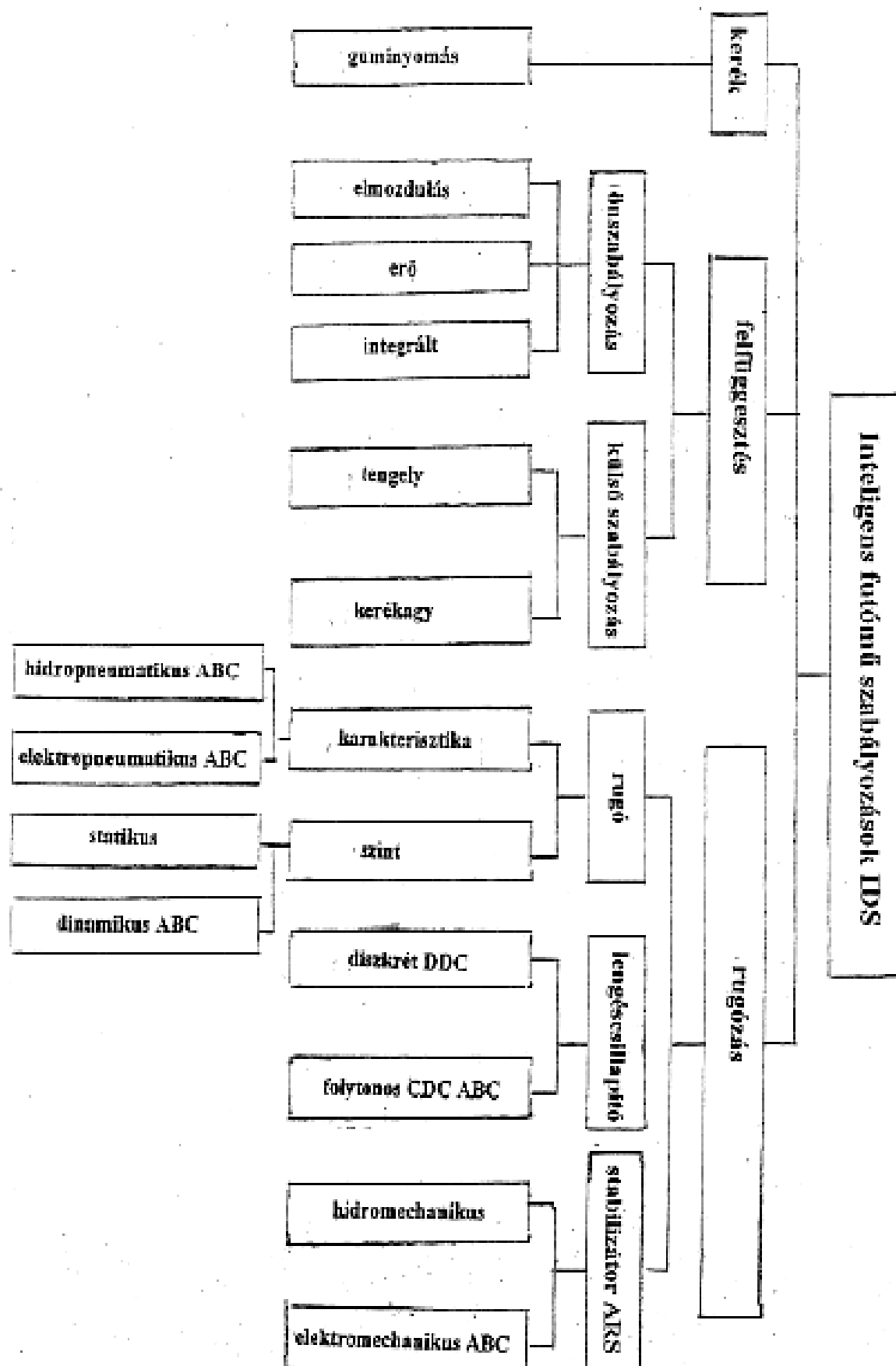
Kód	Funkció leírása	Jóváhagyás éve
ABS	(<i>Antiblockier system, Antilock Braking System</i>) a fékezett kerék megcsúszását megakadályozó rendszer	1979
ASR	(<i>Antriebsschlupfregelung</i>) a hajtott kerék kipörgését szabályozó rendszer	1986
ESP	(<i>Elektronisches Stabilitätsprogram, Electronic Stability Program</i>) a jármű menetstabilitását szabályozó program	1995
BA	(<i>Bremsassistent</i>) fékasszisztens, mely vészfékezéskor növeli a fékerőt	1996
EPS	(<i>Electrical Power Steering</i>) elektromechanikus kormányzás	1996
EAS	(<i>Elektronische Luftfeder, Electronical Airbag System</i>) elektronikus légrugózás	1998
ACC	(<i>Adaptive Cruise Control</i>) útsáv követő rendszer	1999
ABC	(<i>Active Body Control</i>) aktív felépítmény szabályozás	1999
EHB	(<i>Elektrohydraulische Bremse</i>) elektrohidraulikus fék	2001
CDC	(<i>Continuous Damping Control</i>) folyamatos szabályozású lengéscsillapítás	2002

AFS	(<i>Active Front Steering</i>) aktív első kerék kormányzás	2003
DDC	(<i>Dynamic Drive Control</i>) dinamikus hajtás szabályozás	2003
BBW	(<i>Brake by wire</i>) elektromos vezetéken keresztül működtetett fékezés	?
SBW	(<i>Steer by wire</i>) elektromos vezetéken át működtetett kormányzás	?
ACA	(<i>Anti Collision Avoidance</i>) ütközést megakadályozó rendszer	?
APS	(<i>Automatic Parking System</i>) automatikus parkoló rendszer	?
SGC	(<i>Stop and go control</i>) megállás és elindulás közbeni motorvezérlő rendszer	?

Megjegyzés: ? – még nincs jóváhagyva

3. Kerékfelfüggesztés és rugózás intelligens szabályozása

A futóművek intelligens vagy interaktív szabályozása a lengéscsillapítók szabályozásával kezdődött, majd kiterjedt az egész rugózási rendszerre is. Ma már szériatermék az intelligens felfüggesztésnek az önszabályozott konstrukciói. A kutatási programok már megjelentek az intelligens kerék fejlesztésében is. Az intelligens kerékfelfüggesztés és rugózás különböző szerkezeti variációit a kettes táblázat mutatja be. A feltüntetett megoldások között vannak már sorozatban gyártott, nemzetközileg jóváhagyott rendszerek és még csak kísérleti jellegű prototípusok.



3.1. Intelligens kerék

A gépjármű menetstabilitását alapvetően befolyásolja a gumibroncs rugalmassága, ferdefutási tulajdonsága, tapadása, gördülő ellenállása, vízkiszorító képessége. A futóműbe beépített gumibroncs ezen tulajdonságai széles tartományban változhatnak a guminyomás függvényében. Ebből következően a menetbiztonság szempontjából lényeges követelmény az optimális nyomás beállítása és menet közbeni ellenőrzése, szabályozása. A guminyomás menet közbeni ellenőrzésének két féle eljárása és konstrukciója is kialakult:

- közvetlen mérés piezoelektromos úton, vagy forgócsatlakozós légvezetékekkel;
- közvetett mérés a jármű különböző szenzoraiból összegyűjtött adatok kiértékelése, megfelelő szoftver segítségével.

A mért adatok figyelmeztetik a vezetőt a guminyomás beállítására. Egyes terepjáró gépkocsiknál, katonai járműveknél ezt a vezető menet közben is el tudja végezni. Ezt a folyamatot statikus szabályozásúnak lehet minősíteni. Kísérletek folynak olyan dinamikus gumibroncsok szabályozási rendszerek kifejlesztésére, amelyek a kerék dinamikus függőleges terhelését is figyelembe véve, a kerék függőleges lengési ciklusán belül is képes a nyomást változtatni. Ehhez 50 – 80 Hz frekvenciájú zárt ciklusú szabályozási kör szükséges.

3.2. Intelligens felfüggesztés

Az intelligens felfüggesztések a kerékgeometria azon paramétereinek szabályozását célozzák, amelyek alapvetően befolyásolják a jármű menetstabilitását. Ezek a következők:

- kerékdőlés,
- kerékösszetartás,
- keréktalppont keresztirányú mozgása.

Ezek szabályozási célfüggvényeit a rendszer referencia jelének függvényében határozzák meg az adott futóművekre. A referencia jel lehet:

- a kerék felépítményhez viszonyított ki – berugózása,
- a járműre ható oldalgyorsulás,
- a fékerő,
- a vonóerő,
- a kormánykerék elfordítási szöge,
- a felépítmény oldalbillenési szöge,
- a felépítmény bólintó mozgási szöge,
- a jármű függőleges tengely körüli szöglengése.

A felfüggesztés szabályozás, vagyis a meghatározott célfüggvény szerinti kerékmozgatás történhet számítógéppel irányított külső energia bevezetésével vagy önszabályozással.

3.2.1.Felfüggesztés önszabályozással

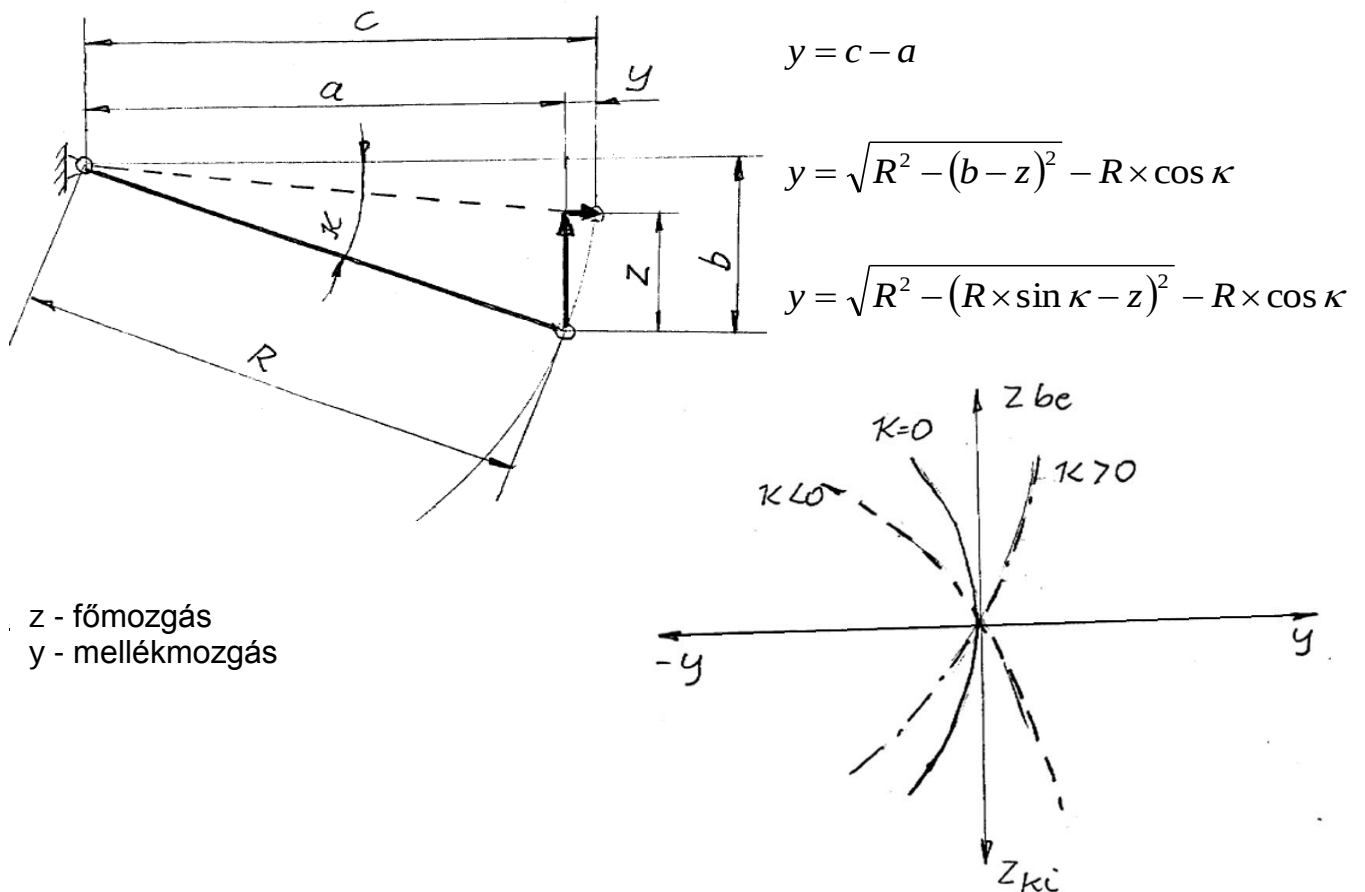
Az önszabályozású felfüggesztés nem igényel külső energiát a kerékgeometria célfüggvény szerinti változtatásához. A konstrukció olyan felépítésű, amely saját maga képezi a referencia jel szenzorjait és a végrehajtás szerveit (aktuátorait). Valójában ezeknél az önszabályozott rendszereknél a szoftver benne van a hardverben. A referencia jel lehet:

- a kerék ki – berugózása,
- oldalirányú erő,
- fékerő,
- vonóerő.

Az aktuátorok szerepét a megfelelő hosszúságú és beépítési szögű lengő rudak és lengőkarok, valamint a nagy térfogatú gumiagyazások (elasztométerek) töltik be. Az önszabályzott felfüggesztések lehetnek:

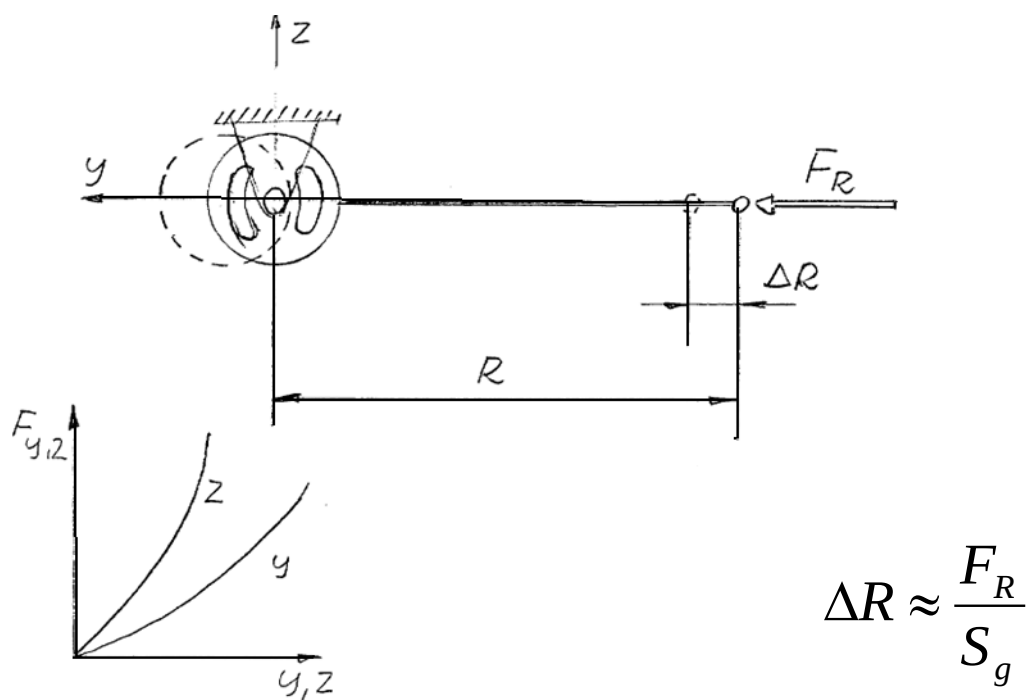
- elmozdulás szabályozása;
- erőszabályozású;
- integrált szabályozású.

Elmozdulás szabályozása:

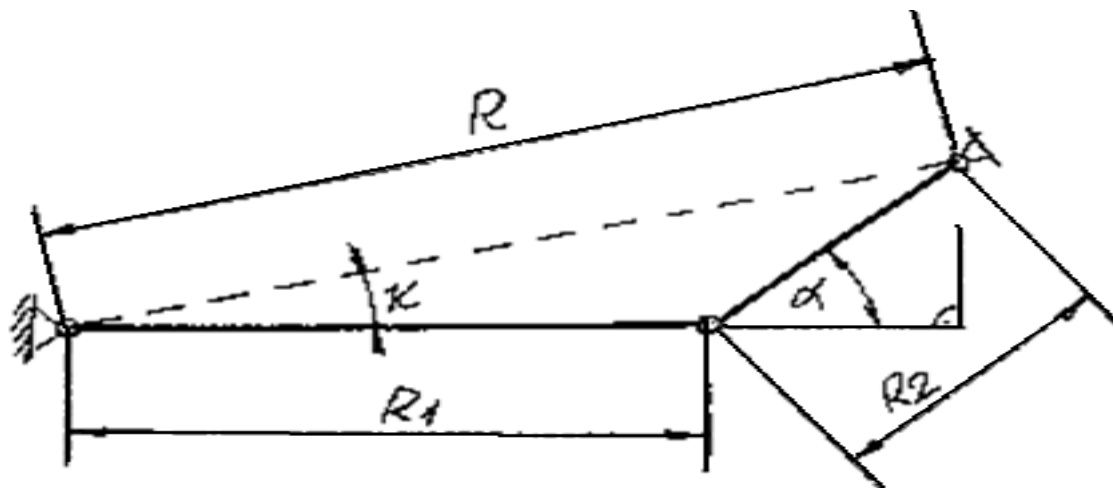


Az Y mellékmozgással a tengelycsonk valamelyik pontját keresztirányba lehet mozgatni, aminek következtében változhat a kerékdőlés, a kerékösszetartás, a kerékalppontjának pozíciója.

Erőszabályozás:



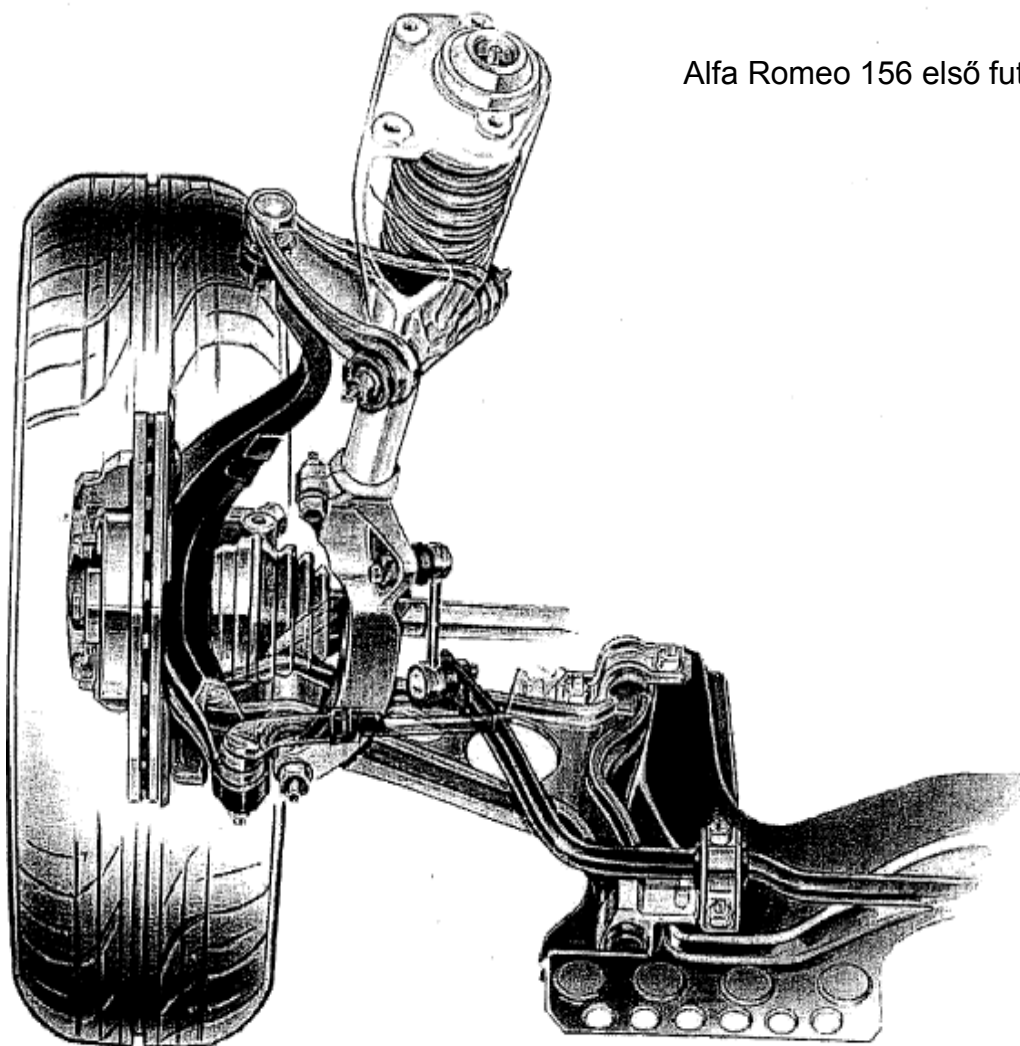
Elmozdulás szabályozás kettős rúddal:



$$\operatorname{tg} \kappa = \frac{R_2 \times \sin \alpha}{R_1 + R_2 \times \cos \alpha}$$

$$R = \sqrt{(R_1 + R_2 \times \cos \alpha)^2 + (R_2 \times \sin \alpha)^2}$$

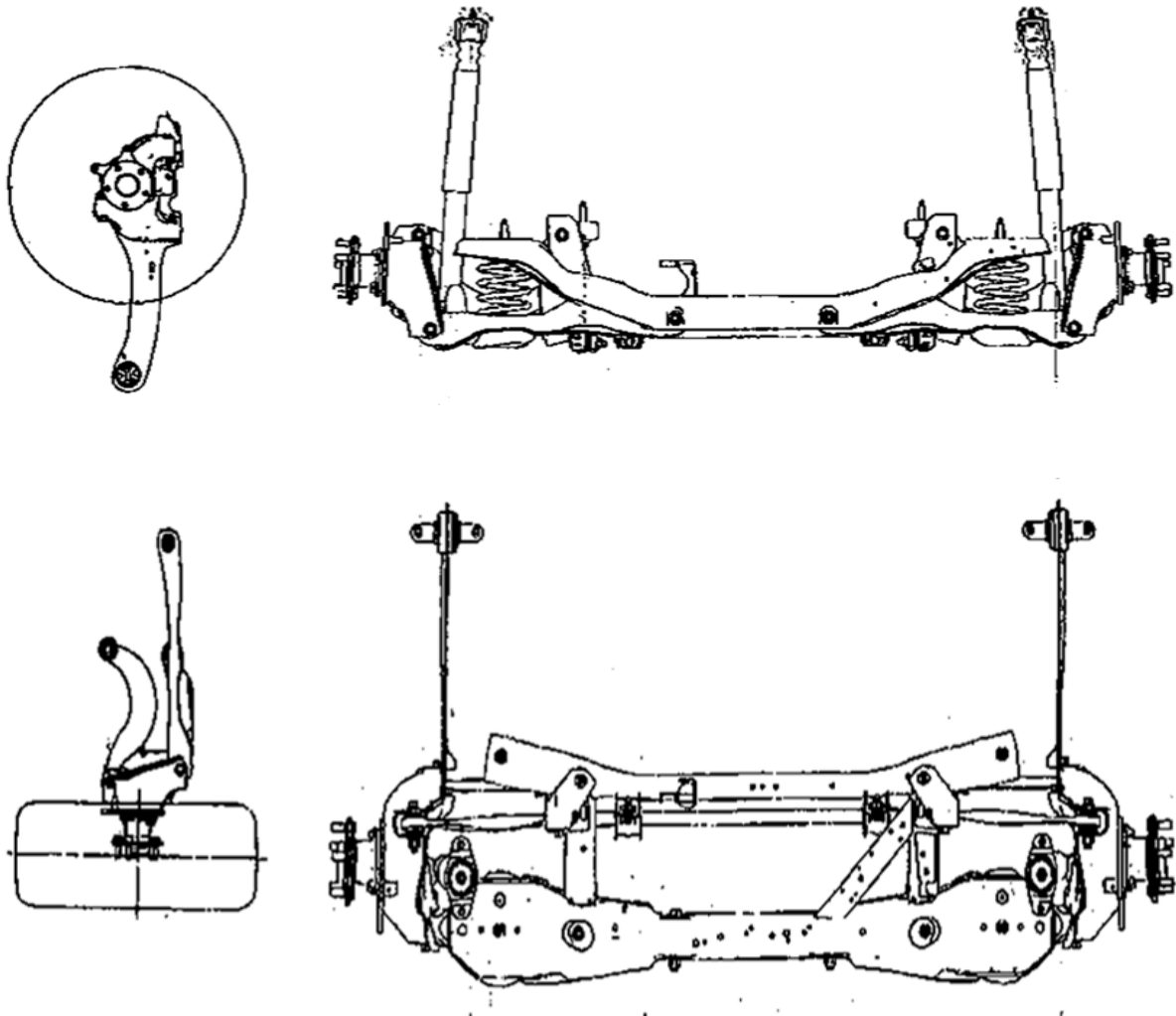
Elmozdulás szabályozás:



Alfa Romeo 156 első futómű

A rövid felső lengőkar befelé és hátrafelé lejt, ennek következtében a kerék ki – berugózásakor változtatja a kerékdőlést, a csapterpesztést és a csaphátradőlést.

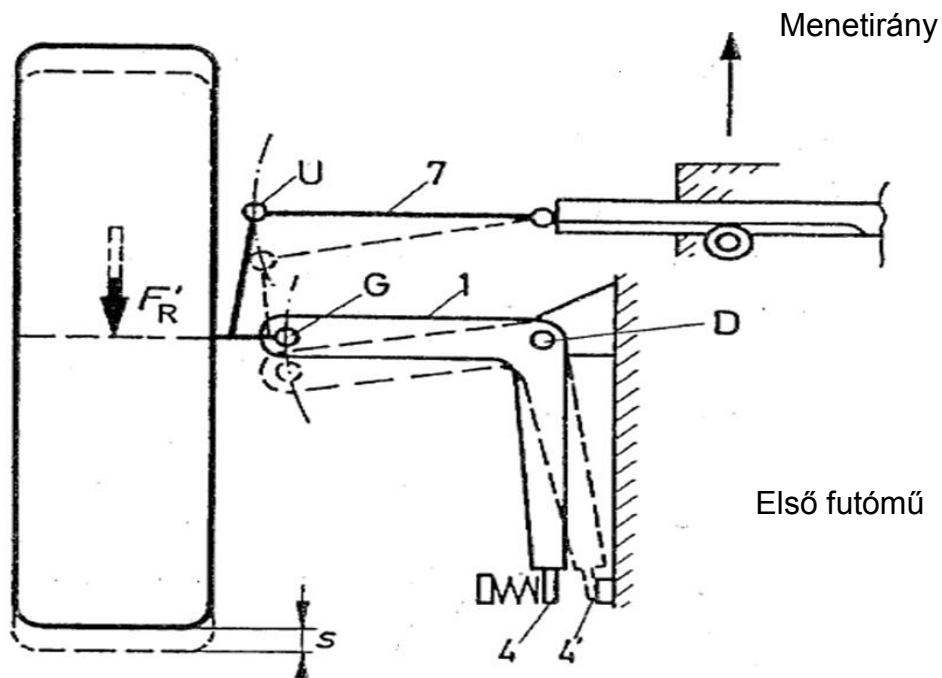
Elmozdulás szabályozás:



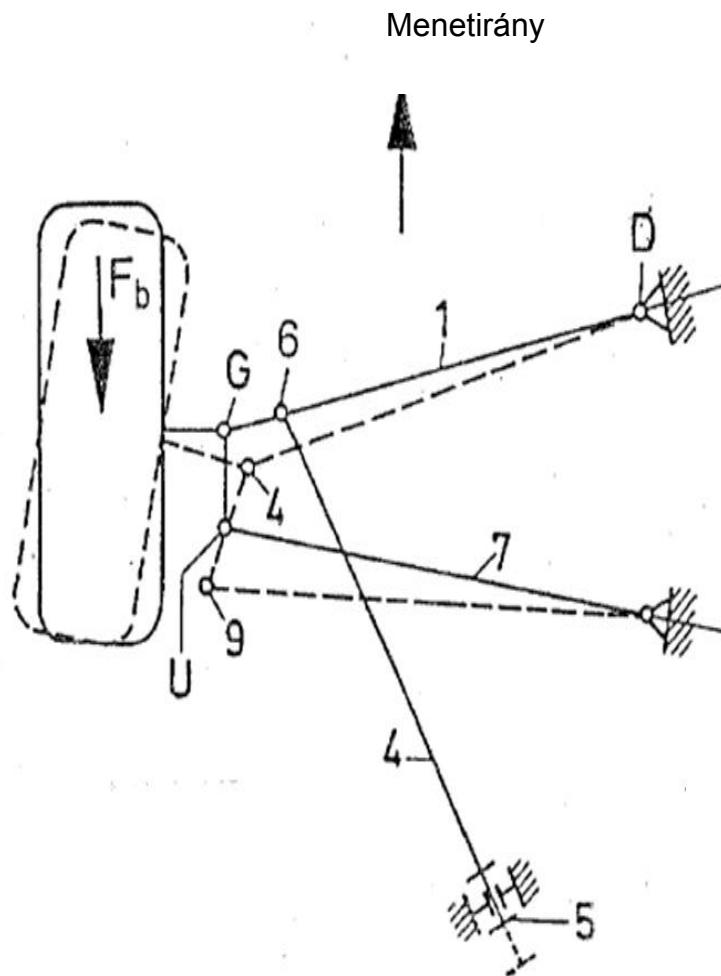
Ford Focusnak C-MAX hátsó futóműve

A három keresztrúd a kerék ki-berugózásának függvényében változtatja a kerékdőlést és a kerékösszetartást. A hosszirányú lengőkar laprugóként működik és betölti az elasztométer szerepét. A többi hasonló konstrukciónál (VW, BMW, Volvo) a hosszlengőkar első nagyterfogatú gumiágyazása az elasztikus elem.

Erőszabályozás:



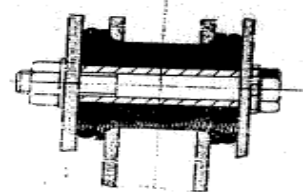
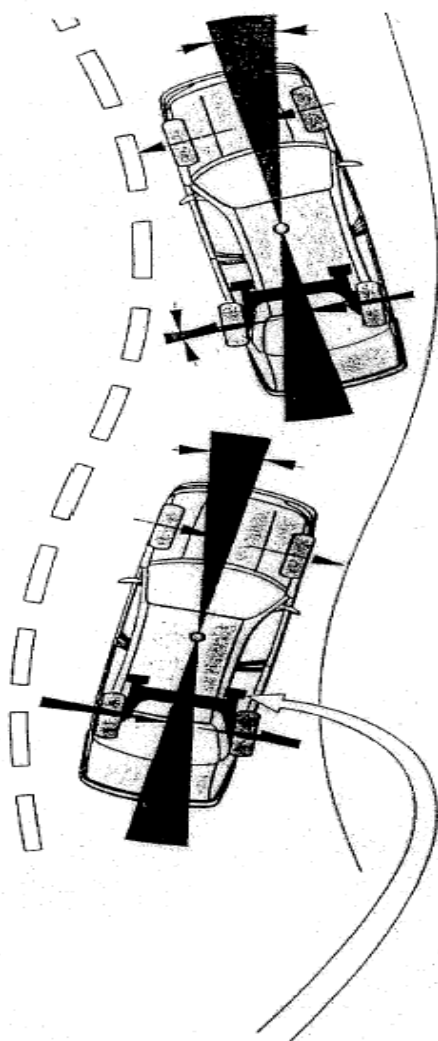
A szabályozás a fékerő függvényében a kerék összetartására irányul. Az első futóműveknél általános követelmény, hogy egyenes úton fékezés következtében a kerékösszetartás ne vagy enyhén a széttartás felé változzon. McPerson futóműveknél ezt a célfüggvényt az alsó kerszetlengőkar (1) elasztikus hátsó bekötésével (4) lehet megvalósítani. Mindkét lengőkar bekötést (D, 4) gumiperselyek képezik, de hátsó (4) térfogata sokkal nagyobb az elsőnél (6), így a fékerő hatására jobban deformálódik, aminek következtében a lengőkar elfordul a D pont körül és szabályozza a kerékösszetartást.



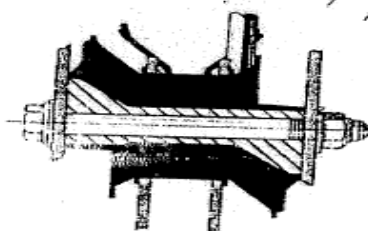
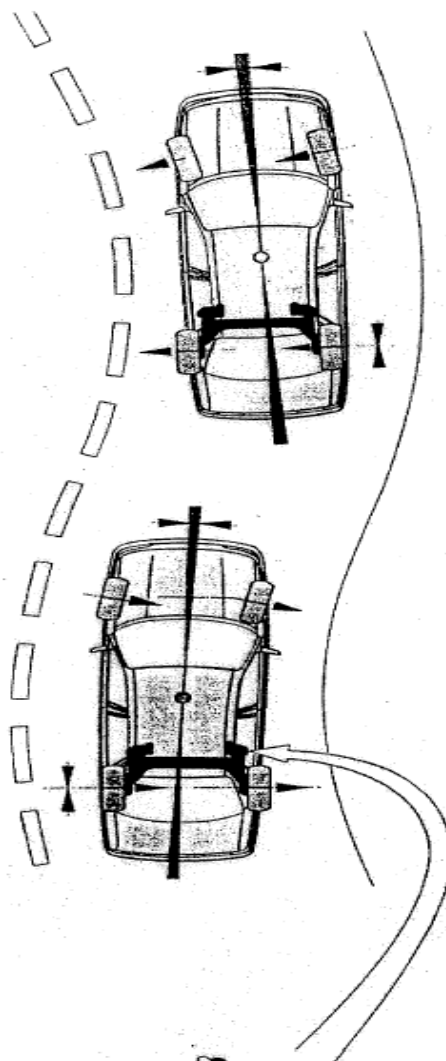
Hátsó futómű

Hátsó futóműveknél egyenes úton történő fékezéskor a jármű menetmenetstabilitása szempontjából olyan szabályozás a kedvező, amely a kerékösszetartást növeli a fékerő függvényében. A soklengőrudas (multilink, mehrlenkar) futóműveknél ezt a célfüggvényt a lengő rudak belső bekötésinek különböző elasztikusságaival lehet megvalósítani. Az egyik hosszirányú lengőrúd (4) a fékerő hatására a nagytérfogatú gumiágyazása (5) következtében rúdírányban elmozdul és elfordítja a tengelycsonkot az összetartás irányába.

Erőszabályozás:



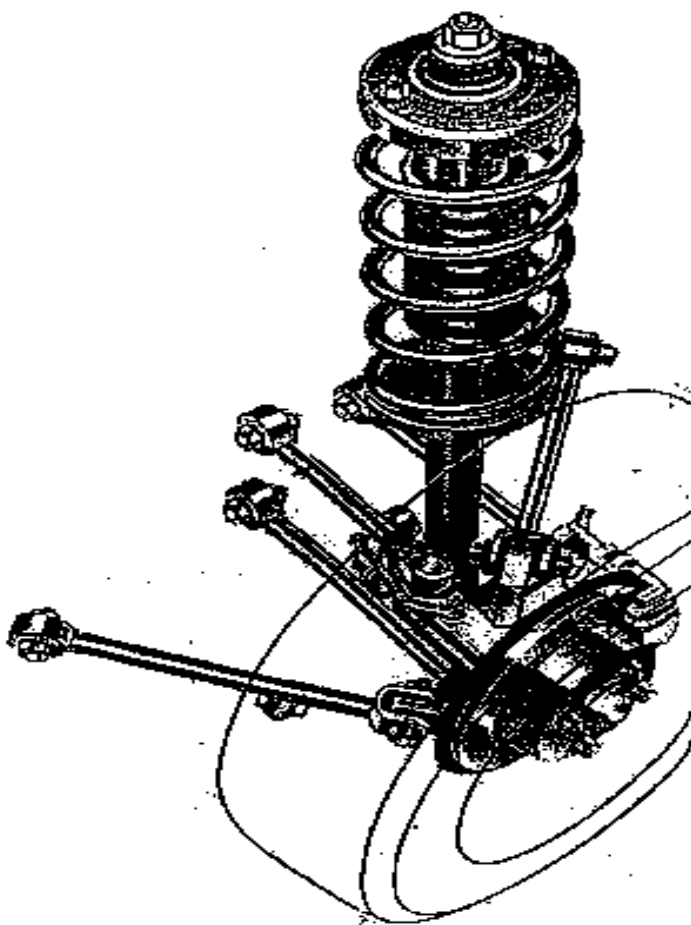
VW Golf 1



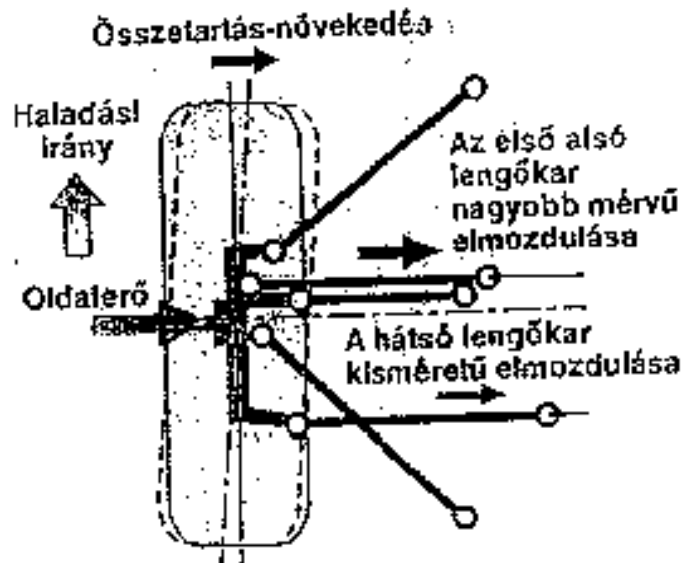
VW Golf 2

A csatolt hosszlegrőkaros hátsó futóműveknél alkalmazott aszimmetrikus nagyterőfogató gumiagyazás következtében a kanyarodás közben fellépő oldalerő hatására az egész futómű a függőleges tengely körül elfordul és megakadályozza a jármű hátsó részének sodródását (kifarolását) vagyis a jármű túlkormányzását.

Integrált szabályozás:

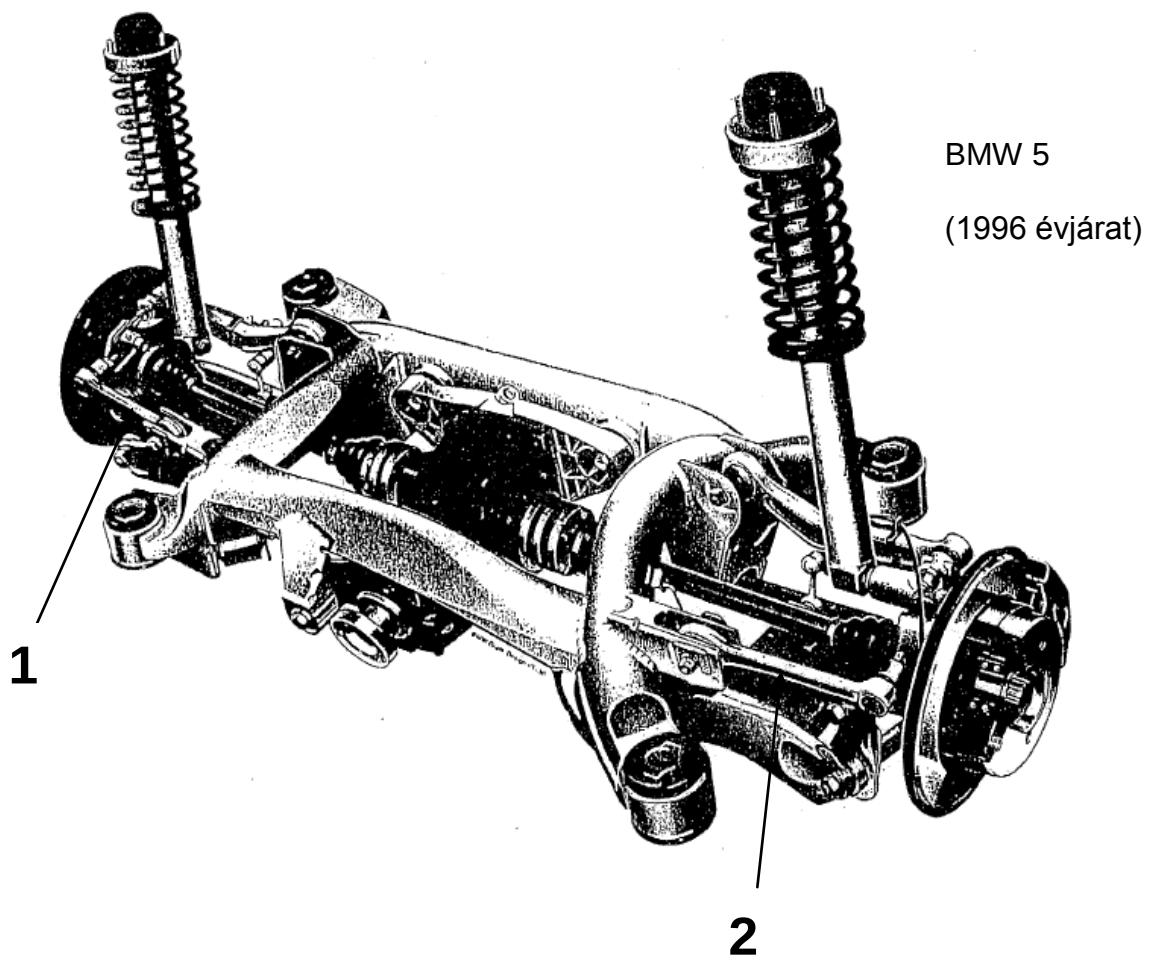


Honda Accord hátsó felfüggesztés



Az oldalerő hatására bekövetkező összetartás növekedés megakadályozza a jármű túlkormányzását.

Integrált szabályozás:



A kanyarodás közben fellépő oldalerő hatására a szabályozó (regulátor) rudak (1,2) a belső nagyterfogatú gumiágyazásuk következtében keresztirányba elmozdulnak és elfordítják a tengelycsonkokat. A kanyar külső oldalán a szabályozó rúd befelé mozdul, vagyis a kerékösszetartás növekszik, míg a belső oldalon a rúd kifelé mozdul, ott a kerékösszetartás csökken, esetleg széttartásba vált.

3.2.2.Felfüggesztés külső szabályozással

A külső szabályzású futóműveknél a jármű menetstabilitását alapvetően befolyásoló kerékgeometriai paramétereket (kerékdőlés, kerékösszetartás, keréktalppont, oldalirányú mozgása) számítógépes zártciklusú rendszer változtatja a megtervezett célfüggvények szerint. A fedélzeti számítógép összegyűjti a jármű menetstabilitásának jellemzésére vonatkozó információkat, meghatározza a kerékgeometriai beállítandó paraméter értékeket és a kerékkörnyezetében működő aktuátor azokat beszabályozza, az új értékeket visszacsatolja a számítógéphez. Az aktuátor lehet:

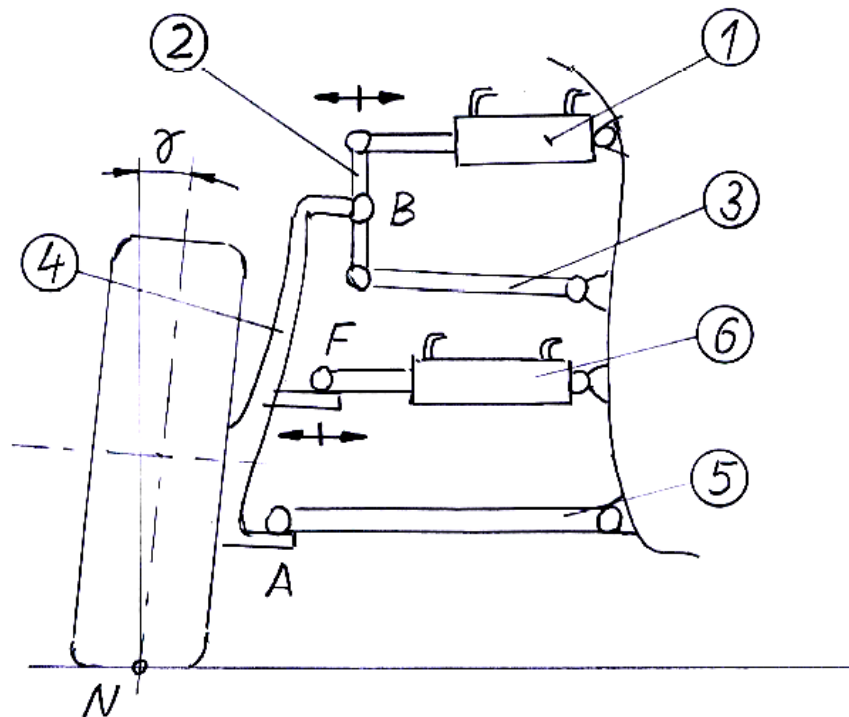
- hidraulikus;
- pneumatikus;
- elektrohidraulikus;
- elektromechanikus;
- elektrodinamikus.

A pneumatikus aktuátorok csak lassú szabályzású rendszerekben a statikus állításokhoz használhatóak, miután nagy az időkéssédelmük.

Az eddig ismertetett külső szabályzású futóművek még kísérleti jellegűek. Ezeknél az aktuátoroknak a feladatát elektromos irányítású hidraulikus munkahengerek látják el. Az elektrodinamikus aktuátorok valójában lineáris egyenáramú elektromotorok, fejlesztésük még kezdeti stádiumban van.

Kerékagy (tengelycsonk) külső szabályozása:

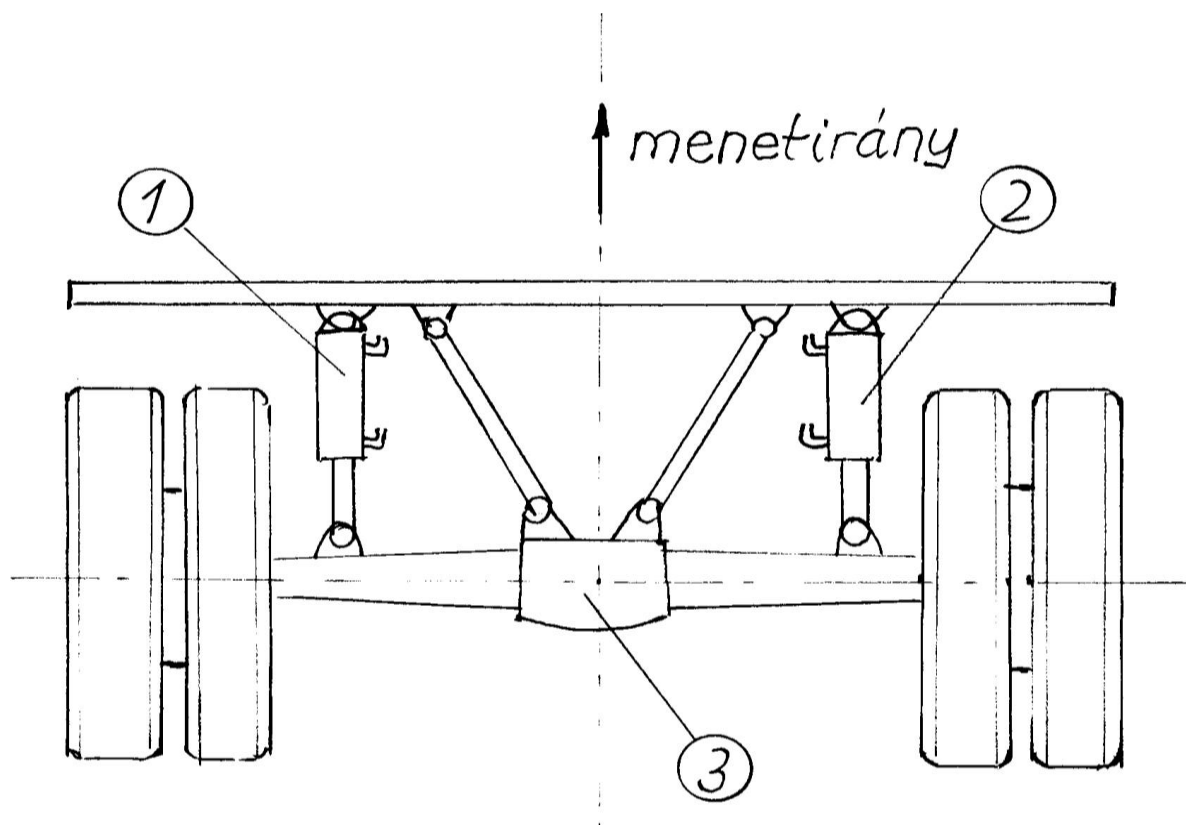
A fedélzeti számítógép utasítására a hidraulikus munkahenger (aktuátor) (1) a tengelycsonk felső nyúlványát (4) a felső lengőkarhoz (3) támaszkodó szabályozó himba (2) segítségével mozgatja, ezáltal megváltoztatja a kerékdőlési szöget (δ) és a kerék talppontjának (N) pozícióját. A kerékösszetartást a második aktuátor (6) szabályozza. Hátsó futóműnél az ilyen konstrukcióval a jármű összkerekkormányzása is megvalósítható.



Az első futómű esetén a kerékösszetartás külső szabályozása a kormányrendszer alapvető átalakítását igényli. A két kerék összetartásváltozása egymástól eltérő irányú és méretű lehet, ami a trapézmechanizmus kiiktatását feltételezi és helyette a számítógépes irányítású, a kormánykerekekhez csak elektromos vezetékekkel kapcsolt úgynevezett steer by wire rendszert kell alkalmazni. Ezt a rendszert azonban a nemzetközi előírások még nem engedélyezik. A kísérleti járművekben az első és hátsó futóművek külső szabályozási rendszerei jól működnek és javítják a jármű menetstabilitását.

Tengely külső szabályozása:

Az autóbuszok merev hidas hátsó futóművének intelligens szabályozására is már bemutatottak prototípus modelleket. A négy lengőrudas légrugós hátsó futómű külső szabályozásához a két menetirányú lengőrudat váltják ki a fedélzeti számítógéppel irányított hidraulikus munkahengerekkel.



A hidraulikus munkahengerek (1,2) az egész hátsó hidat $\pm 6 \div 8^\circ$ szögtartományban forgatják el, ezáltal csökkenthető az autóbusz a hátsó részének sodródása, túlkormányzása.

A külső szabályozású felfüggesztési rendszerek a jövőben a kormány alapú ESP szabályozásnak is eszközei lehetnek.

3.3. Rugózás intelligens szabályozása

A rugózási rendszer intelligens szabályozása irányulhat a lengéscsillapítóra, a hordrugóra, a stabilizátorra. A felépítmény függőleges lengéseinek szabályozása az energia származása szerint lehet:

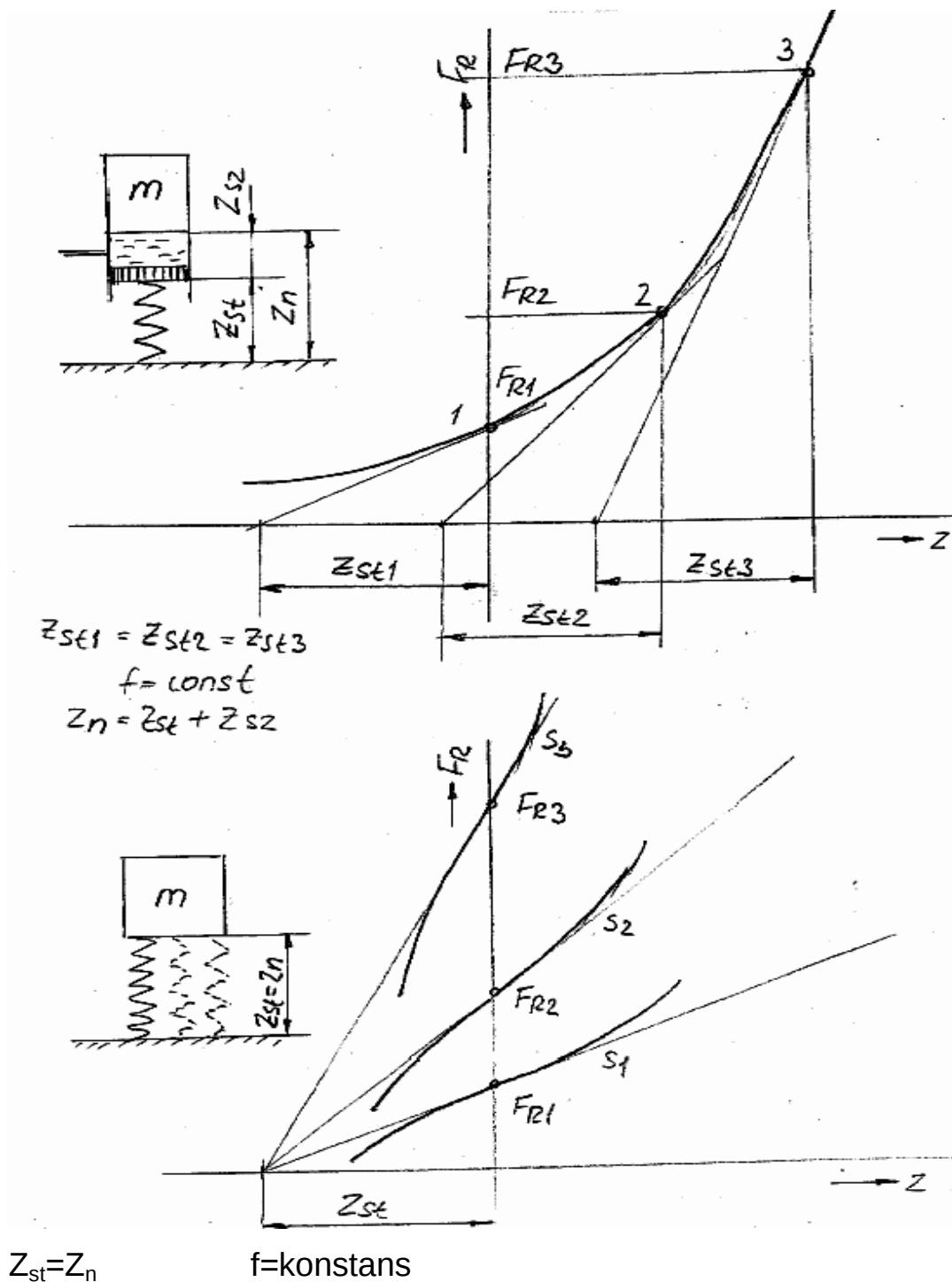
- passzív;
- félaktív;
- aktív.

A passzív rugózásnál nincs külső energia bevitel. A kerekeket és a felépítményt a kerekek berugózásakor a hordrugókban összegyűjtött potenciális energia mozgatja. A lengéscsillapító az összegyűjtött energia egy részét szétszórja, disszipálja. A rugó és lengéscsillapító paramétereit előzetesen optimalizálják, menetközben azokat már nem szabályozzák.

A félaktív rugózás esetén sincs külső energia felhasználás. A szabályozott lengéscsillapító a disszipálódó energia mennyiségét a lengéskényelmi követelményekhez, az útviszonyokhoz igazítja. Ezért ezt a szabályozást adaptívnek is nevezik.

Aktív rugózás esetén már külső energia is bekerül a rendszerbe. A bevitel történhet a lengéscsillapítón, a hordrugón, a stabilizátoron keresztül vagy közvetlenül a felépítményt mozgató valamilyen aktuátor segítségével.

3.3.1. Hordrúgó szabályozás



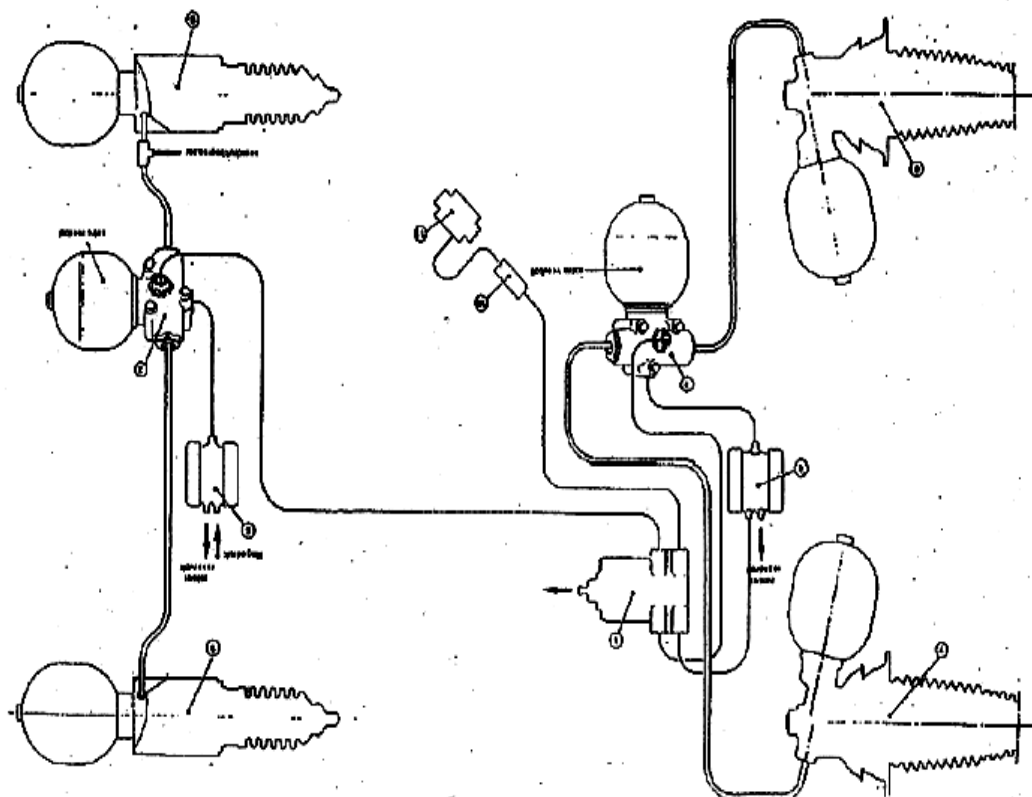
A hordrúgó szabályozás történhet:

- szintszabályozás
- karakterisztika szabályozás formában.

Szintszabályozás esetén a rugó merevségi tulajdonsága, karakterisztikája változatlan marad, a szabályozás a felépítmény lengésének munkapontjára irányul, ami konkrétan a padlószint magasságát jelenti. Ez a szabályozás lehet statikus vagy dinamikus. Statikus szintszabályozás a felépítmény padlószintjének (hasmagasságának) álló helyzeti beállítását egyes megoldásoknál, mint például autóbuszoknál a kocsitest leültetését jelenti. A dinamikus szintszabályozás képes menetközben is a padlószintet változtatni. Ha ez 4 – 6 Hz frekvenciával történik, akkor már általa a felépítmény aktív szabályozása (ABC) is megvalósítható.

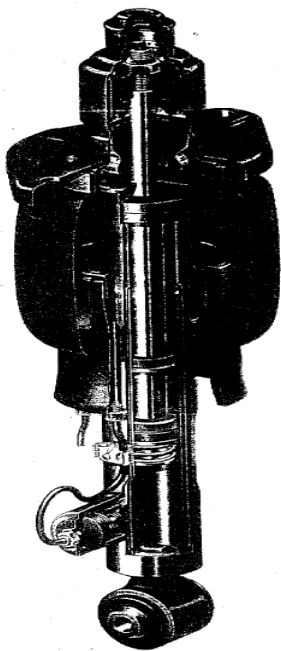
Karakterisztika szabályozás esetén a rugó merevségi tulajdonsága is változik a lengéskényelmi és menetstabilitási igényeknek megfelelően. Ebbe a kategóriába tartozik a hidropneumatikus rugózás (pl. Citroen) és az elektropneumatikus rugózás. Mindkét típus alkalmas az ABC szabályozás megvalósítására.

Hidropneumatikus rugózás:

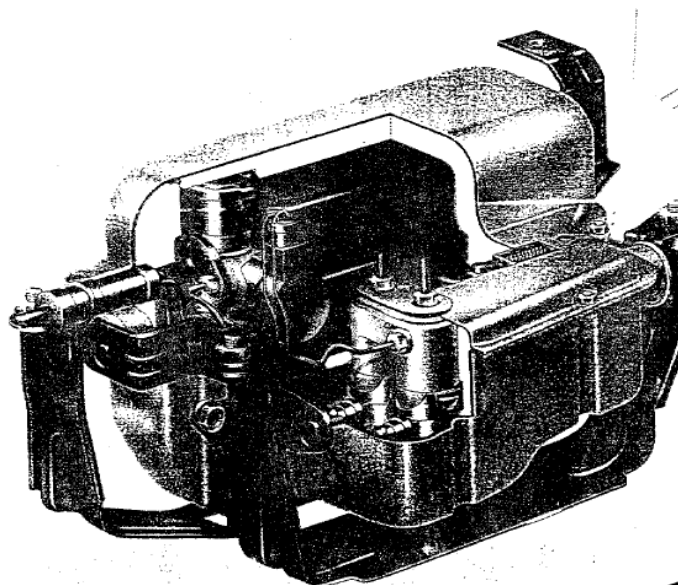


Elektropneumatikus rugózás:

Az elektropneumatikus rugózási rendszereket elsősorban a nagyobb kategóriás luxus személygépkocsikon alkalmazzák (Audi, Mercedes). A levegőellátást integrált egység szolgáltatja, amelyik elektromotoros meghajtású kompresszorból, nyomás szabályozó és levegőtisztító egységekből, légtartályból áll. A rugózó elem gördülőmembrános tömlős lérugó és vele egybeépítve CDC szabályozású lengéscsillapító. A lérugók szabályozását elektronikus szintszabályzó szelepek végzik. A dinamikus elektronikus szintszabályozás és a fokozat nélküli lengéscsillapítás szabályozás együttesen a felépítmény mozgásának aktív irányítását (ABC) lehetővé teszi. Az elektropneumatikus lérugózást szabályzó központi egység számára a minden egyes kerékhez és a felépítményhez kapcsolt gyorsulásszenzorok, irány és sebességérzékelők továbbítják az információkat.



Lérugós és lengéscsillapítós rugóstag



Integrált levegőellátó rendszer

3.3.3. Lengéscsillapító intelligens szabályozásai

A lengéscsillapító szabályozására jelenleg két rendszert alkalmaznak:

- DDC- (Diskret Damping Control) a lengéscsillapító különböző konkrét beállítása;
- CDC- (Continuous Damping Control) a lengéscsillapító folyamatos (fokozatmentes) szabályozása.

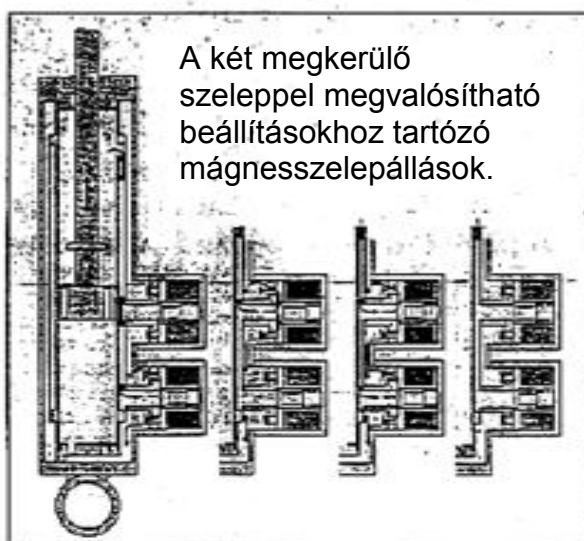
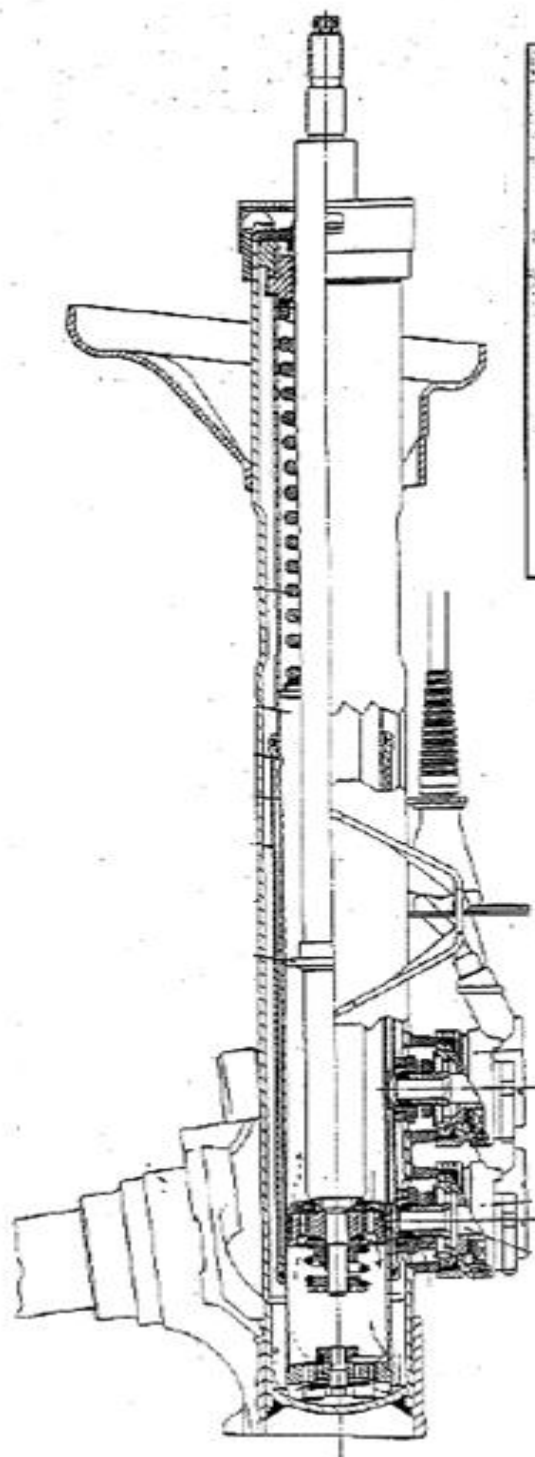
A DDC szabályozás általában három fokozatba állítható:

- normál
- komfort
- sportos

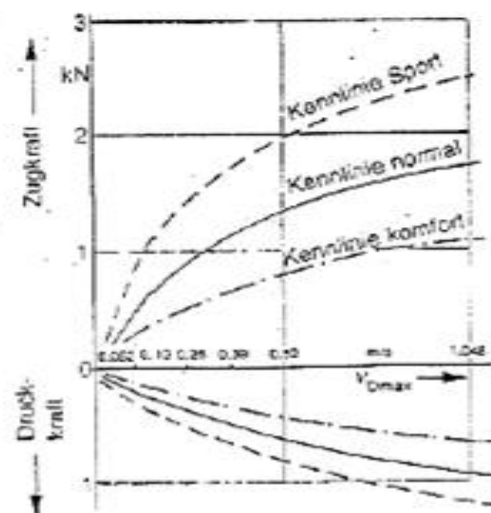
Az egyes fokozatok beállítását a jármű vezetője végzi, tehát nem automatikus, szubjektív érzeten alapul.

A CDC szabályozás során a lengéscsillapító karakterisztikája széles mezőt ír le, a beavatkozás automatikus, elsősorban a felépítmény billenő és bólintó mozgását szabályozza. A CDC szabályozás már alkalmas a felépítmény billenő és bólintó mozgásának dinamikus szabályozására (ABC).

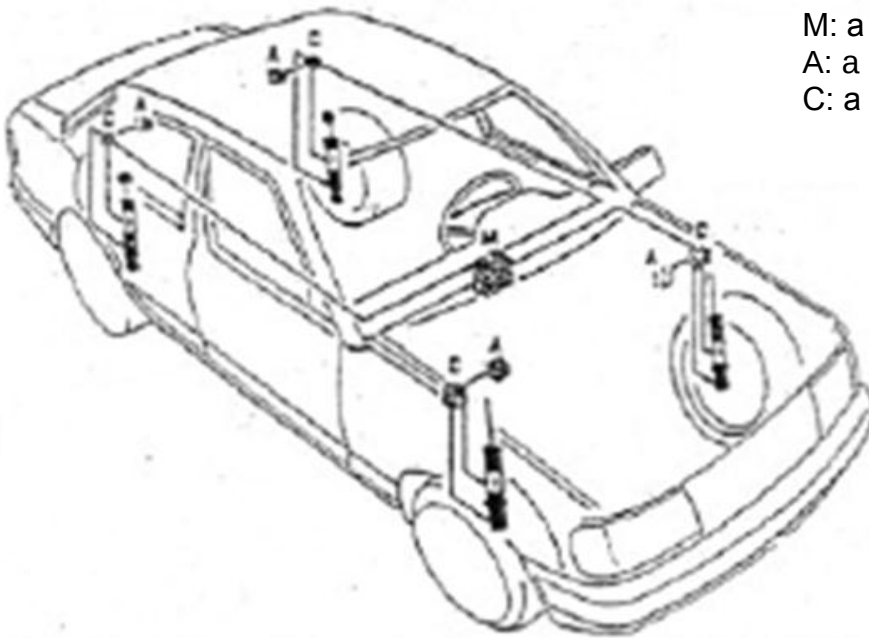
DDC-szabályozás:



A két megkerülő
szeleppel megvalósítható
beállításokhoz tartozó
mágnesszelepállások.



CDC – szabályozás:



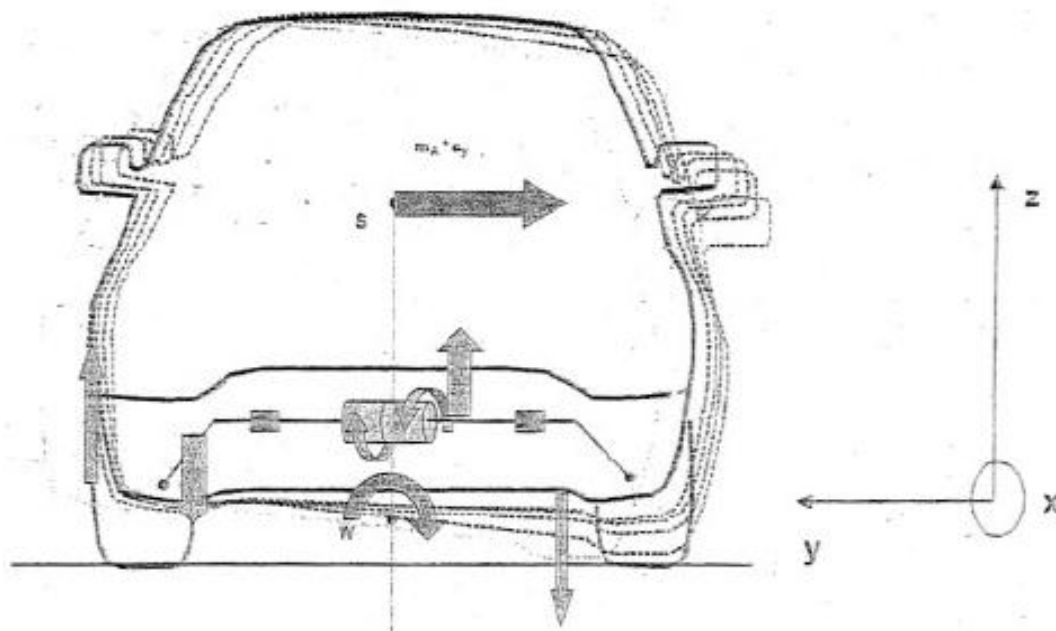
M: a rendszer vezérlőközpontja;
A: a gyorsulásérzékelő;
C: a vezérlő (erősítővel)

3.3.4. Intelligens stabilizátorok

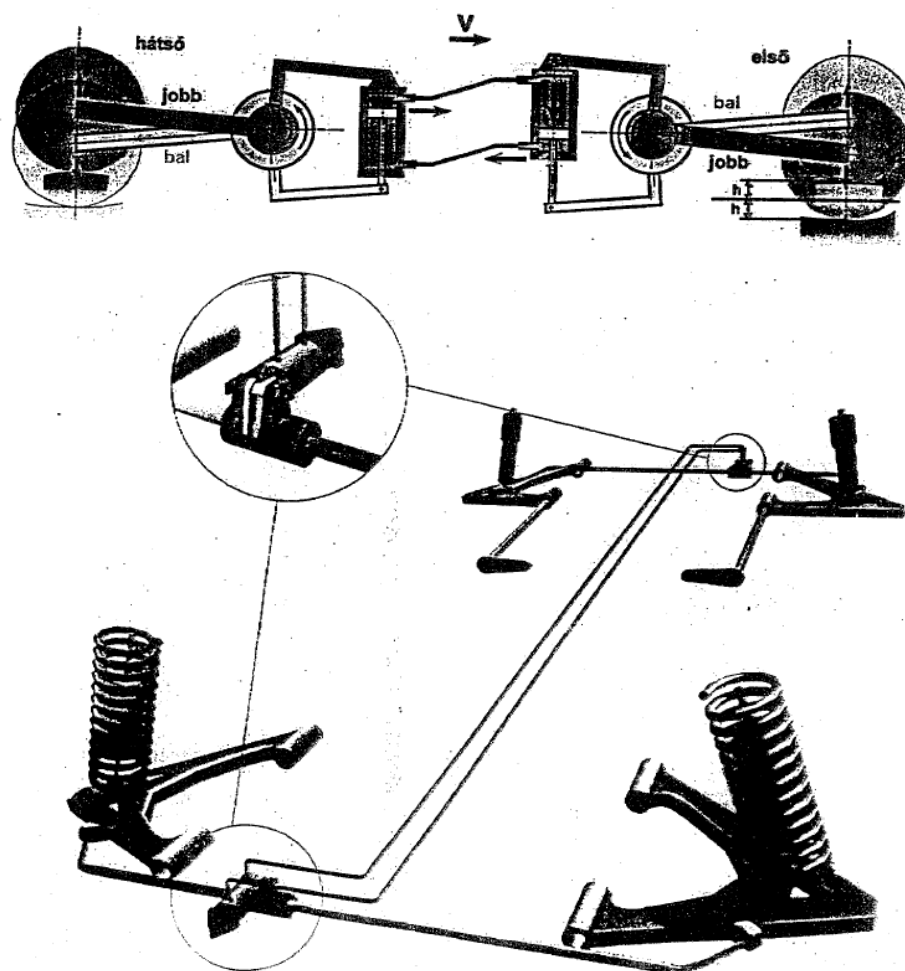
A gépjármű futóművek intelligens szabályozásának legújabb rendszere a keresztstabilizátorokra épül. Az adott futómű két kerekét összekötő stabilizátort kétfelé osztják és közéjük hidromechanikus vagy elektromechanikus feszítőművet iktatnak be. A két fél egymáshoz viszonyított elfordításával a felépítmény billenő mozgását lehet befolyásolni.

A két futóművön alkalmazott osztott stabilizátorok összehangolt mozgatásával a felépítmény bólintó mozgása is szabályozható. 4-6 Hz szabályozási frekvenciájú rendszerrel lényegében az ABC szabályozás is megvalósítható. Ilyen céllal az elektromechanikus konstrukciók a legalkalmasabbak.

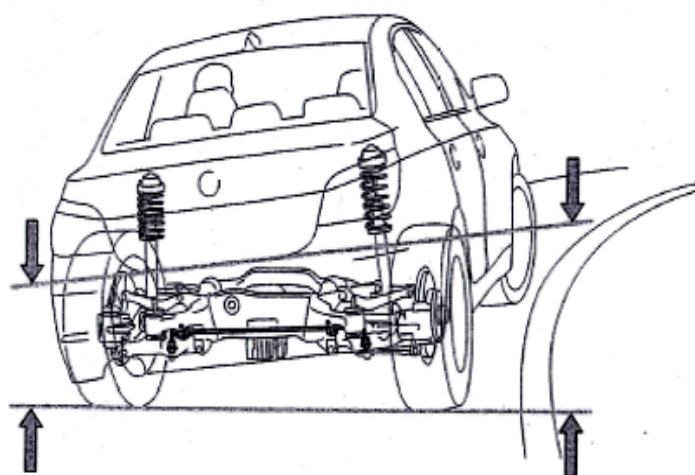
ARS – szabályozás:



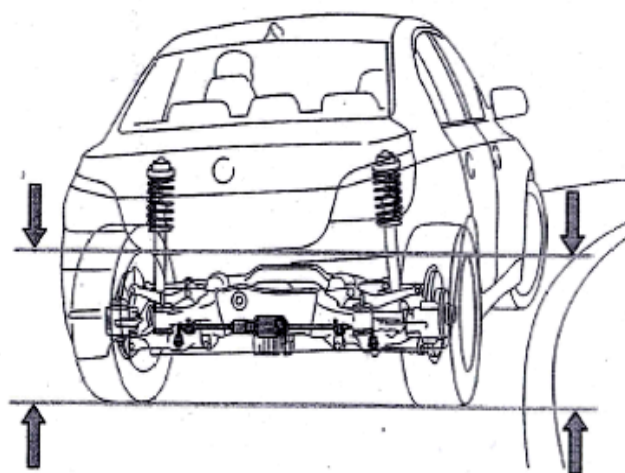
Hidromechanikus szabályzású stabilizátor rendszer:



Elektromechanikus aktív szabályozású stabilizátor:



ARS nélkül



ARS - sel

A első és a hátsó futóműbe épített aktív stabilizátorok hatására kisebb az oldaldőlés, csökken a kerekek étterhelődése, javul a járműstabilitás és nő az utasok komfortérzete is.

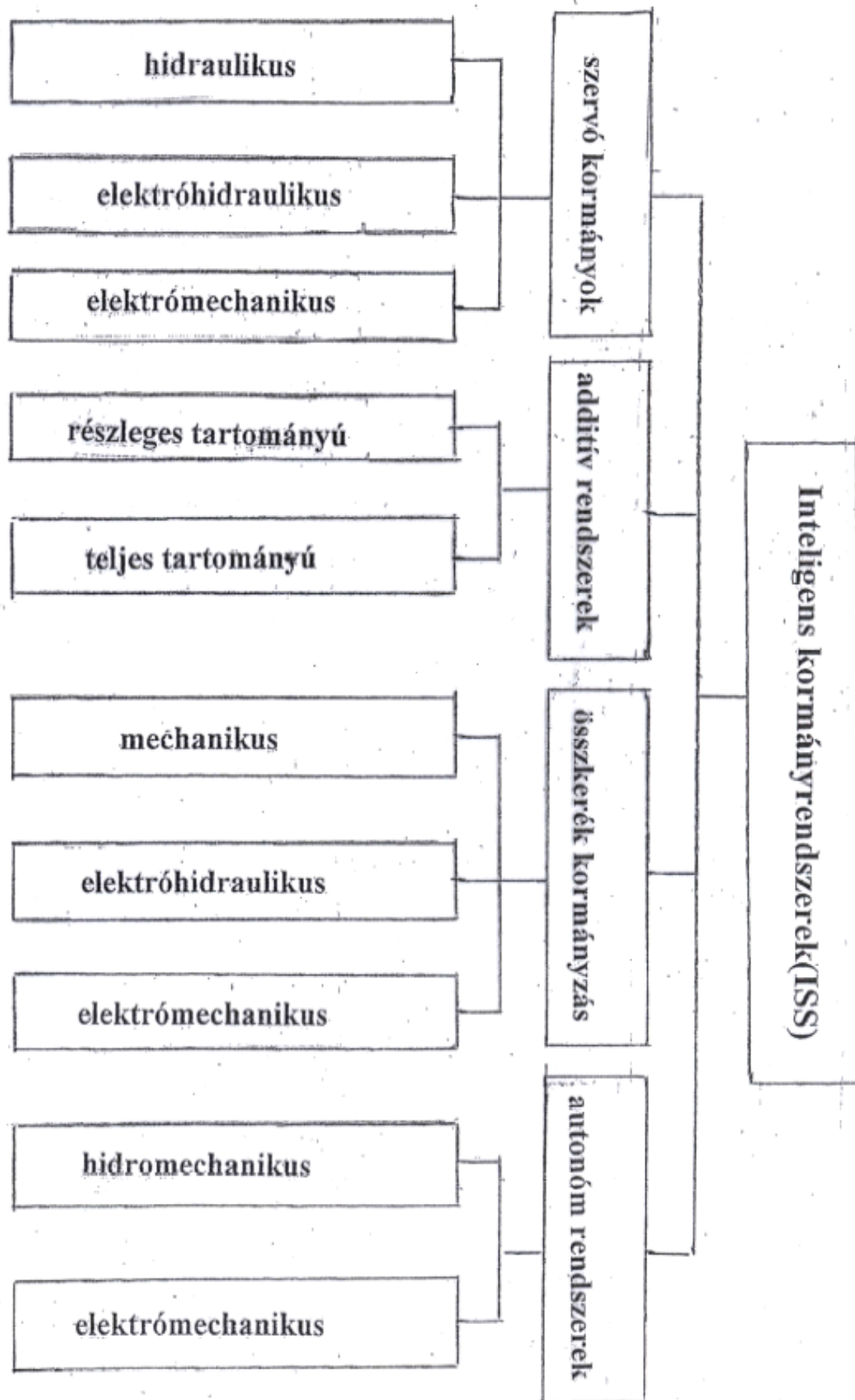
4. Intelligens kormányrendszerek

Az intelligens kormányrendszerek kutatásának, fejlesztésének több motívációja, célkitűzése ismeretes:

- csökkenteni a kormányzáshoz szükséges emberi erőt,
- városi közlekedésben meggyorsítani a kormánymanővereket,
- támogatni, segíteni a vezetőt a helyes kormánymozdulat megválasztásában,
- a vezetőtől független kormányzással megőrizni a jármű menetstabilizálását.

4.1. Szervókormányok

Az első intelligens kormányrendszerek a szervókormányok, mint vezetőt kisegítő szabályozott egységek voltak. A szervókormányzás meghatározó funkciója a vezető támogatása megfelelő célfüggvény szerinti kisegítő nyomatékkal. A szervókormányok szabályozási referenciajele a vezető által kifejtett nyomaték, vagyis a kormányzás irányát, a kerekek pozícióját nem figyeli, nem bírálja felül a vezető mozdulatát. A műszaki fejlődésük a hidraulikus rendszerekkel indult, majd megjelentek az elektrohidraulikus, újabban pedig az elektromechanikus rendszerek. Valamennyiben központi alkatrészként megtaláljuk a nyomatékszenzort.



4.2. Összkerék kormányzás

Időrendben az intelligens kormányzás második technikai csoportját az összkerék kormányzású rendszerek alkották.

Az 1980-as években szinte technikai divattá vált az összkerék kormányzások innovációja. De a multilink, elasztókinematikus futóművek megjelenése és dinamikus elterjedése az összkerékkormányzást háttérbe szorította.

Ezek az új futóművek integrált önkormányzási funkciójukkal ugyanazokat a járműdinamikai előnyöket képesek nyújtani, mint a jóval bonyolultabb, drágább számítógépes összkerék kormányzású konstrukciók.

4.3. Autonóm kormányzás

A kormányrendszerek további minőségi műszaki fejlődésének jelenleg már nem csak technikai, hanem jogi problémái, gyakran korlátai vannak. Műszakilag ma már lehet olyan bonyolult, intelligens és nagy megbízhatóságú autonóm rendszereket akár sorozatban is előállítani, amelyek önállóan képesek az egyes kerekeket a jármű menetstabilitásának megtartása érdekében a vezetőtől függetlenül, ha szükséges akár ellenében is kormányozni.

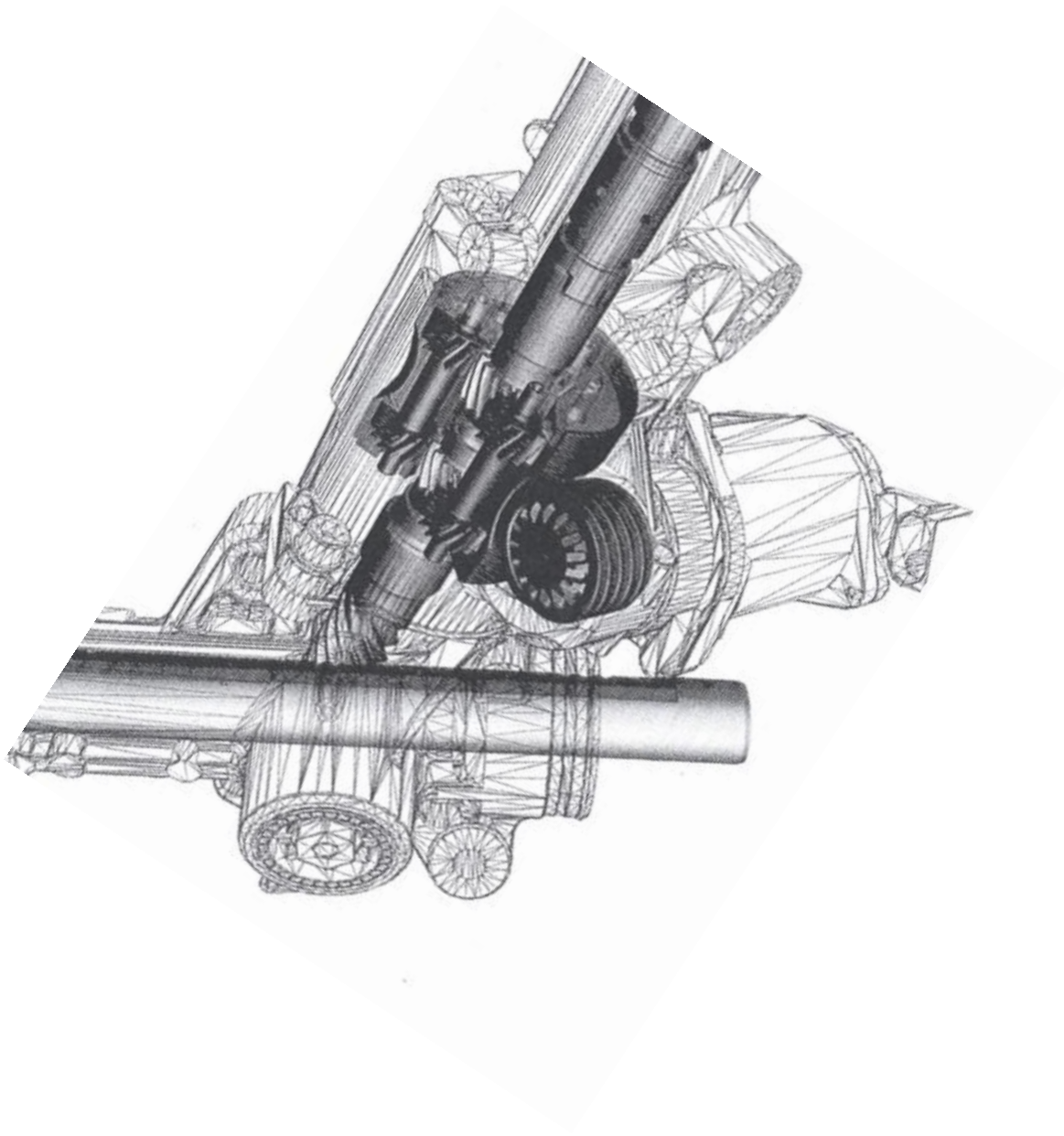
De ehhez már a kormánykerék és a kormányzott kerekek közötti mechanikus kapcsolatot ki kell iktatni, a vezető csak a jármű kanyarodási szándékát fejezi ki és a számítógépes szabályozási rendszer a jármű mozgását leíró számos információ alapján elektromechanikus vagy elektrohidraulikus hálózaton keresztül a kerekeket megfelelő elkormányzási pozícióba állítja. Ez a steer by wire rendszer, melyet a nemzetközi előírások csak korlátozásokkal engedélyeznek. A steer by wire rendszerű autonóm kormányzás esetén a kerekek akár ellentétes irányba is elfordulhatnak.

4.4. Additív kormányzás

Jelenleg a steer by wire kormányzás első lépcsőfoka az úgynevezett additív rendszer.

A nagykategóriás személygépjárművek több típusában már additív kormányzást találunk. Megbízhatóságukkal kiemelkednek a BMW és az Audi konstrukciók.

Az additív kormányzási rendszer műszakilag és jogilag is megfelel az érvényes nemzetközi előírásoknak.



A kormánykeréktől a kerekekig tartó mechanizmus változatlanul fennáll, de a kormánykerék tengelye kétfelé van választva és közöttük számítógéppel irányított elektromotoros meghajtású bolygóműves differenciálmű képezi a kapcsolatot.

A trapézmechanizmus többi alkotóeleme (fogasléces kormánygép, nyomtávrúd, trapézkar) változatlan marad, így a két kerék továbbra is együtt fordul az Ackermann szöghelyesítések szerint.

A steer by wire rendszerű autonóm kormányzás esetén a két kerék akár ellentétes irányba is elfordulhat.

A bolygóműves differenciálmű szabályozott behajtással lehetővé teszi, hogy a kormánykerék elfordításával azonos, vagy ellentétes irányú, kisebb vagy nagyobb mértékű szögelfordulást továbbítson a kormánygép felé.

Ezekkel a variációkkal lehet segíteni a vezetőt, lehet figyelmeztetni a helytelen kormánymozdulatra, esetleg hibás döntése esetén felülbírálni és ellentétes irányú elkormányzást realizálni, mindezt a jármű menetstabilitásának megtartása érdekében. Vagyis ez a rendszer már első megvalósított konstrukciója a kormány alapú menetstabilizáló (ESP) szisztémának, természetesen a fékalapú ESP-vel együttműködve.

A biztonságkritikus működést a konstrukció garantálja, ugyanis az elektronikus – elektromos rendszer meghibásodása esetén a bolygókerekek háza azonnal befékeződik és ezáltal ismét helyreáll a kormánykerék tengely kettévágott részei között a direkt mechanikus kapcsolat. De a nemzetközi előírások még korlátozzák az additívitas (a szöghozzáadás) tartományát, ez jelenleg a kormányzott kerekeknél $\pm 8^\circ$ lehet, ami körülbelül ötöde a kerekek teljes elfordulási szögének.