



Aktuátorok

Dr. Jakab Endre

Miskolc, 2013



Tartalom

1. Bevezetés

1.1 Relatív és elemi mozgások, szánok

1.2 Struktúraképzések, Renard sorok

1.3 Aktuátor láncok, az aktuátorok elhelyezkedése

1.4 Energiaátalakítók, energiafajták

2. Mechanikai aktuátorok, példák az NC szerszámgépek köréből

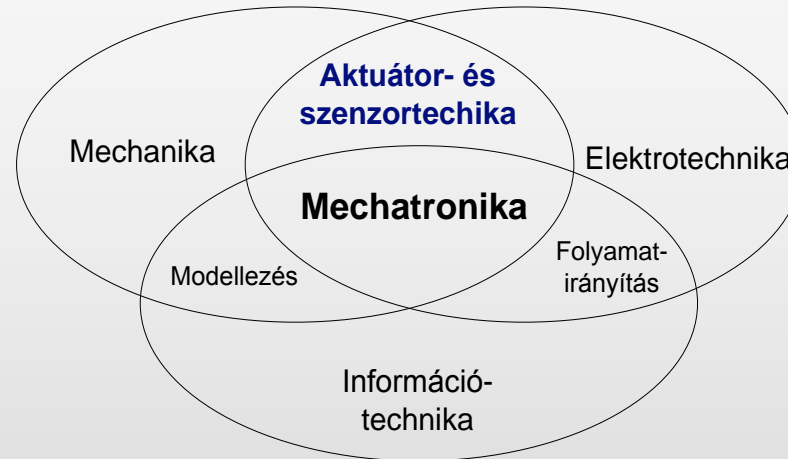
3. Fluidmechanikai aktuátorok

4. Villamos aktuátorok

5. Bolygóművek

Megjegyzés: A tananyagban szereplő ábrák döntő része a szerző rajza.
Ezektől eltérő ábrák és fényképek nyílt forrású anyagokból származnak.

1. Bevezetés



1. ábra: A mechatronikai rendszer építőelemei

Az 1. ábrán az egyes mezők, metszetek rendszerbeli és egymáshoz viszonyított arányai mechatronikai szerkezetektől függően változóak lehetnek. *A metszeten kívüli mezők a mechatronikai rendszer passzív elemei, egységei vagy rendszerei,* míg a *közös metszetek az aktív mezők.* Az aktuátor- és szenzortechika a mechanika és elektrotechnika (elektronika) szoros kapcsolatára utal, ami nem nélkülözheti az információtechnikai háttérrel.



Az „Aktuátor” szó a latin aktor=cselekvőt is jelentő szóból származik.

Az Aktuátorok a Mechatronikai Rendszerek központi alkotórészei.

Aktuátor az energia bevezetéstől az energia felhasználásig terjedő különböző fajta (mechanikai, fluid-mechanikai, stb.) kinematikai láncban elhelyezkedő, mozgást, vagy állapotváltozást létrehozó és átalakító elemek, egységek és rendszerek összessége. Példák különböző szakmai területekről hozhatók.

Az aktuátor láncokat különböző energiaforrások működtethetik, mint:

elektromos energia,

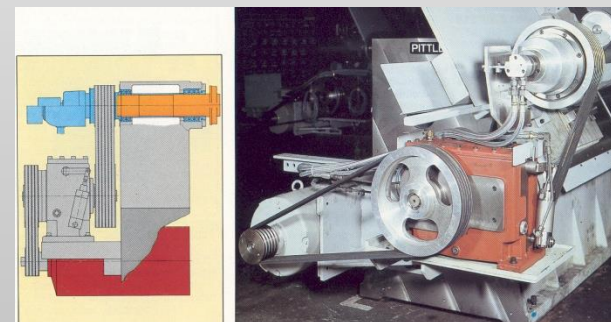
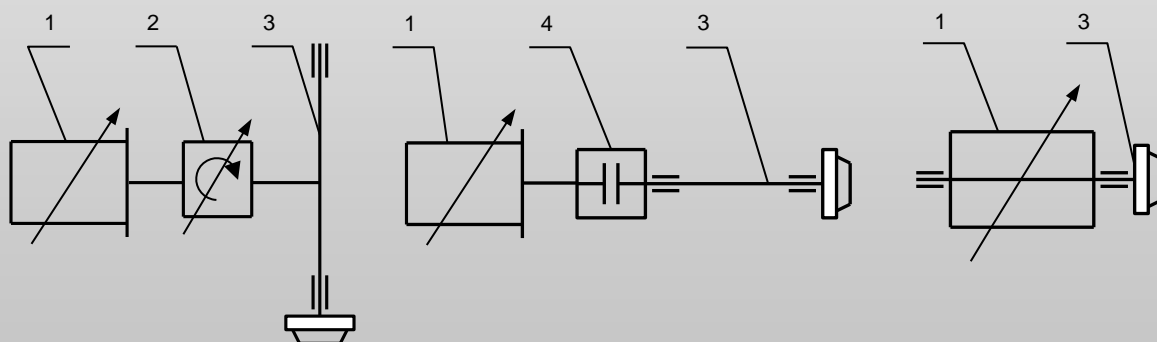
pneumatikus és hidraulikus energia,

esetleg kémiai- és hőenergia.

Megjegyzés: pl. a pneumatikus és hidraulikus működtetés kiinduló energiaforrása is villamos!

Szakterülettől függően pl. az elektromechanika, finommechanika, mikrorendszerek, adaptronika osztályozás is használatos.

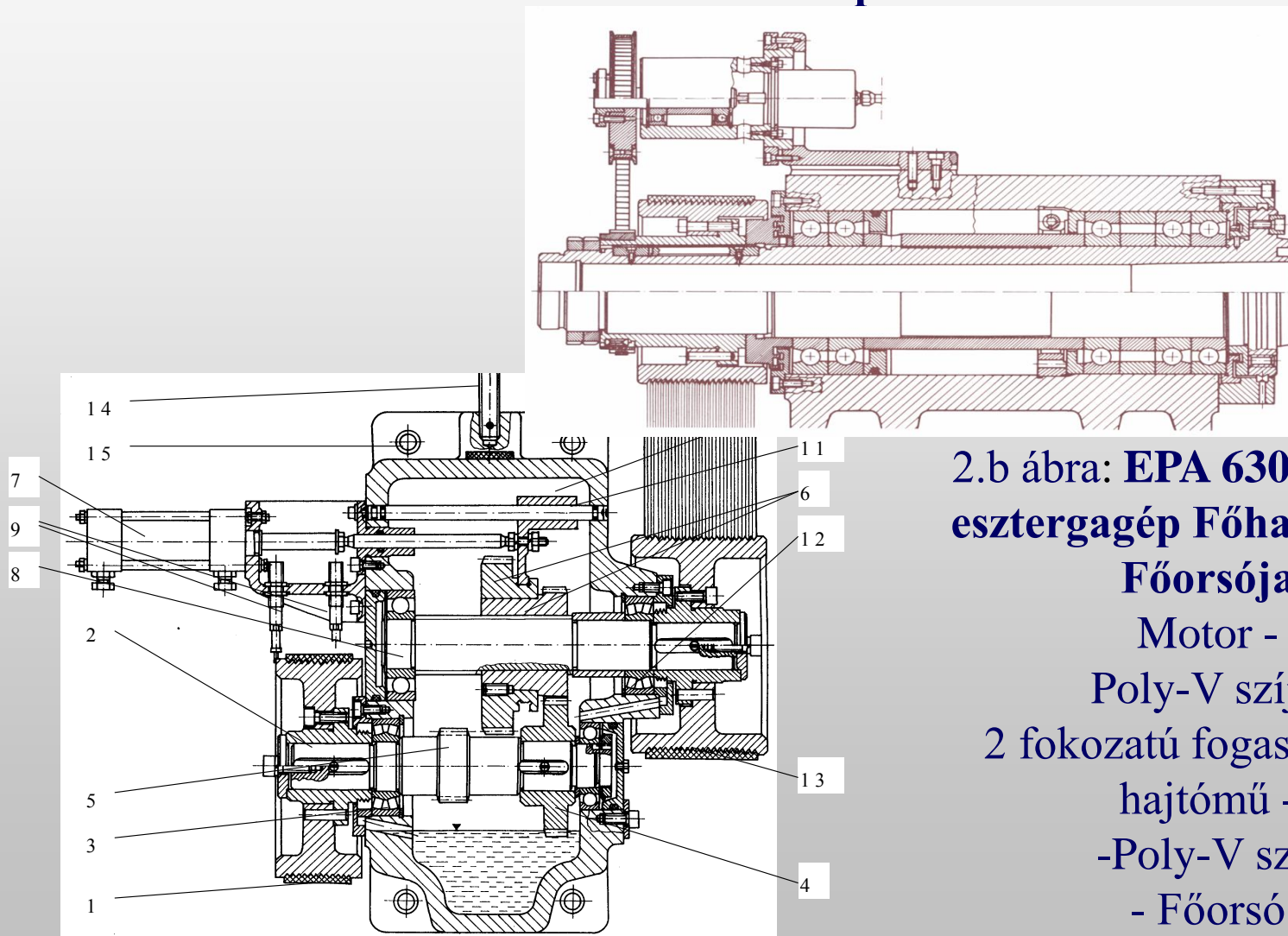
Példa 1.: Az elektromos energiaforrás mechanikai kinematikai láncot (szerkezetet) működtet pl. az alábbiak szerint. Pl. egy korszerű szerszámgép főhajtóművének kinematikai láncában az aktuátor elemek és egységek a következők lehetnek: Fokozatmentesen szabályozható villamos motor (1) – Kis fokozatszámú fogaskerekes hajtómű (2), ami el is maradhat – Főorsó a Szerszám, vagy Mdb. felfogására és működtetésére (3) - Tengelykapcsoló az egytengelyű hajtásban (4). Lehetséges változatokat a 2. ábra mutat.



2. a ábra: Forgó főmozgású, fokozatmentesen állítható fordulatszámú szerszámgép főhajtóművek funkcióvázlatai

Balra: Ipari példa: Motor-Szíj-Fokozatos hm.-Szíj-Főorsó (Pittler)

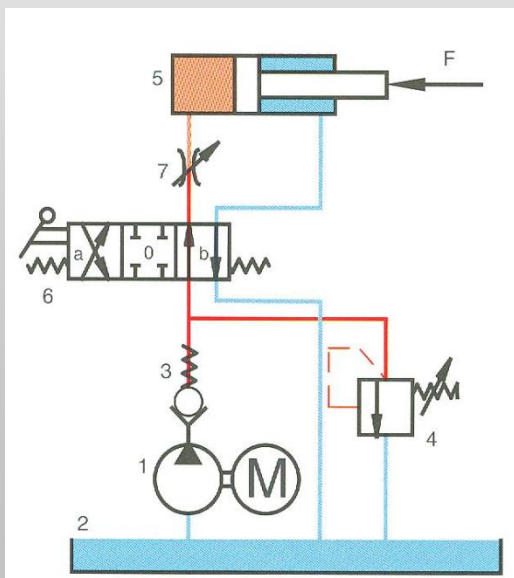
Példa 1.: Mechanikus kinematikai lánc példa



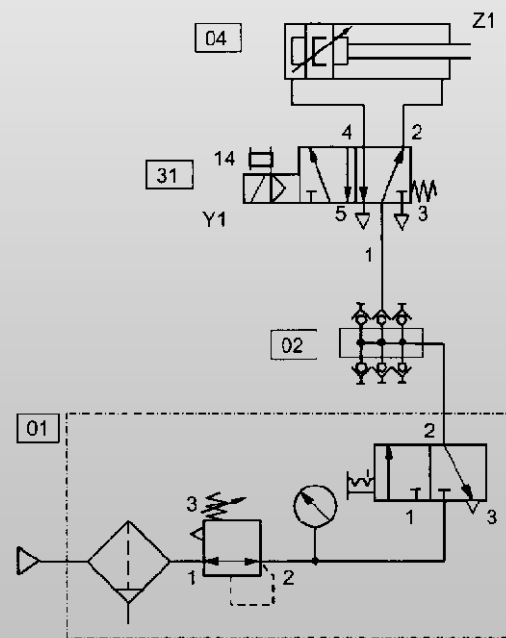
2.b ábra: EPA 630-01 CNC
esztergagép Főhajtóműve,
Főorsója
Motor -
Poly-V szíj -
2 fokozatú fogaskerekes
hajtómű -
-Poly-V szíj
- Főorsó

Példa 2.: Elektrohidraulikus kinematikai lánc egységei pl.: Villamos motor – Szivattyú – Vezérlő elemek - Hidraulikus henger – Mozgatott egység (2.c ábra).

Példa 3.: Elektropneumatikus aktuátorlánc egységei (2.d) ábra: Kompresszor (vagy léghálózat – Előkészítő egység (01) – Levegő elosztó (02) – Rugó visszaállítású, elektromosan működtetett 5/2-es útszelep (31) - Pneumatikus munkahenger (04) Természetesen a rendszerekben szükségesek az *ellenőrző elemek, egységek is.*



2.c ábra: Példa 2. (Bosch Rexroth)



2.d ábra: Példa 3. (Bosch Rexroth)



1.2 Relatív és elemi mozgások, azokat megvalósító szánok

A mechatronikai rendszerekben valamely elempár között szükséges relatív mozgásokat célszerűen **elemi mozgásokból** hozzák létre.

Az elemi mozgásokat megvalósító egységeket szánoknak nevezik, amelyek lehetnek **lineáris** és **forgó** mozgásúak. A szánok a Descartes-i derékszögű koordinátarendszer tengelyeinek megfelelően, legtöbbször egymásra merőlegesen épülnek fel, ami a gépépítés technológiai (megmunkálási) célszerűségéből következik.

A számjegyvezérléssel irányított tengelyek (D-Dimension) száma igen nagyszámú is lehet (12-16). Az egyes tengelyek lehetnek egymással egyidejűleg összefüggésben, és szimultán irányíthatók. Ezeket nevezik **2D-6D-s** berendezéseknek. Gépváltozatok az egyszerre irányított tengelyek száma alapján képezhetők.

Elemi mozgások, szánok

Az elemi mozgás biztosításához a tér 6 lehetséges (3 egyenesvonalú haladó, 3 forgó) szabadságfokából 5-öt kényszerekkel (k_A) kötnek meg!



Az elemi mozgások a Descartes-i koordinátarendszerben értelmezzük (3. ábra).

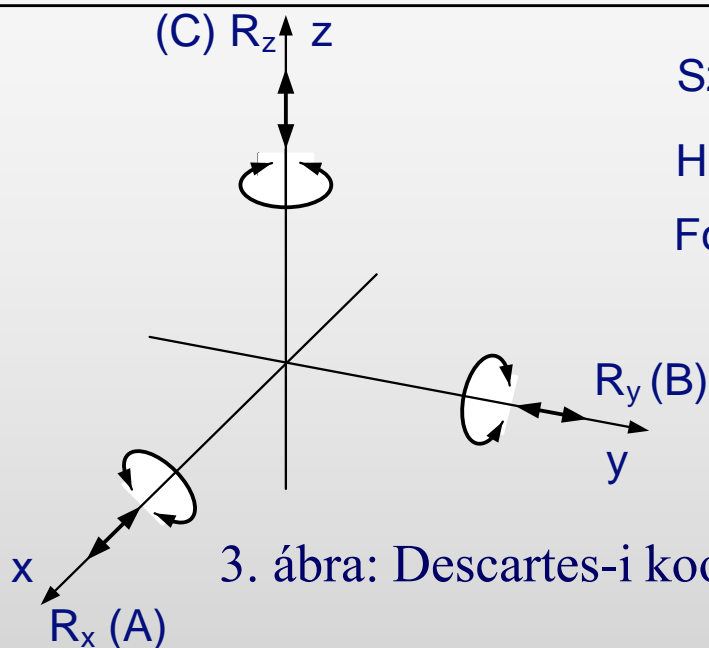
Az elemi mozgásokat un. szánok (4. ábra) valósítják meg, amelyek:

- a., *Egyenesvonalú haladó mozgás*-t végző lineáris szánok (4.a ábra)
- b., *Forgómozgás*-t végző szánok (orsók, tengelyek, körasztalok) (4.b ábra)
- c., *Transzlációs körmozgás*-ú szánok (pl. paralelogramma mechanizmus középső tagja) (4.c ábra).

Fontos!

Ha lehet mindig forgómozgású szerkezeteket építsünk és csak a kinematikai lánc legvégén alakítsuk át a forgó mozgást egyenesvonalú haladó, vagy más jellegű mozgássá!! Ennek előnyei:

- **dinamikailag kedvezőbb szerkezet készíthető**
- **forgó mozgásnál magas mozgásjellemzők (sebesség, gyors.) biztosíthatók**
- **a forgásszimmetrikus alkatrészek előállítása a legolcsóbb!!**

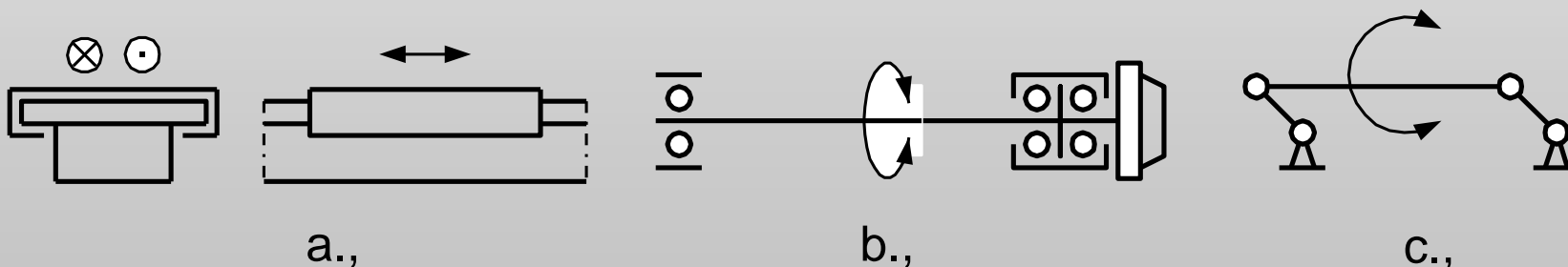


Szabadságfokok száma: 6

Haladó mozgások: x, y, z

Forgó mozgások: R_x, R_y, R_z
A, B, C

3. ábra: Descartes-i koordináta-rendszer - Elemi mozgások



4. ábra: Elemi mozgásokat megvalósító mechanizmusok/szánok/



1.3 Struktúráképzések, vagyis Változatképzések

A mechatronikai rendszerek építésekor igen gyakran alkalmazzák a módszeres géptervezés két gyakori és fontos elemét a:

- **Struktúrák** és a
- **Paraméterváltozatok** képzését.

A - Strukturális változatok képzésének alapja az, hogy az egymástól mechanikusan független irányított tengelyekből (aktuátor láncokból) és tartóelemeikből meghatározott szabályok szerint különböző gépváltozatok képezhetők (építhetők). A strukturális változatokat a mozgások megosztása és azok egymásra épülési sorrendje alapján képezik.

A1-Mozgásmegosztási változatok képzése. Az alakítási mechanizmusban egymásra ható két oldal (**Szerszám-Munkadarab**) között a mozgások szétoszthatók. Szélső esetben minden mozgást az egyik, vagy a másik oldal végezhet. Pl. álló esztergákés - forgó munkadarab (közismert), vagy fordítottja: forgó kés - álló munkadarab (faesztergálás).



A2-Rendűségváltozatok (Egymásra épülési sorrend változatok)

Az egymásra épülő, és sorosan kapcsolódó aktuátor lánc elemekből (szánokból) ***egymásra épülési sorrendváltozatok, vagy másként rendűségváltozatok*** képezhetők (pl. A-ra épül a B, vagy fordítva). A CNC (Numerical Control - Számjegyvezérlés) berendezéseknél ez a független NC tengelyek miatt egyszerűen megvalósítható!! (Az optimális megoldás kereséshez a műszaki és gazdasági értékelemzés módszerét használják. Ezekhez szorosan kapcsolódik az ***építőszekrény és a moduláris építés elvének*** alkalmazása.)

B. - Paraméterváltozatokat általában **geometriai** (ritkábban számtani) sor szerint képezik, jele φ . A paraméterváltozatok nagyságrendi változatok, amit különböző gyártmánykatalógusok adatai is tükröznek. Így említhető pl. a villanymotorok teljesítményparaméter sora, a felületi érdesség értékek sora, vagy a hidraulikus és pneumatikus hengerek méretsora. A paraméterváltozatok (geometriai) képzésére a következő összefüggés használatos:

$$\varphi = \sqrt[n]{m}$$



Az összefüggésben a φ a geometriai paramétersor szorzótényezője, n a képzett tagok száma, m a felosztott tartomány szélessége. A paramétersorokat gyakran a **Renard-sorok** szerint képzik (Renard francia léghajó építő mérnök volt, aki a léghajó kötelek átmérőjét szabványosította).

Renard-soroknál: $m=10$, $\varphi=1,12$ ($n=20$), $1,26$ ($n=10$), $1,41$ ($n=20/3$), $1,58$ ($n=20/4=5$), stb..

Példák

Esztergagépek méretingsora (pl. az elforduló mdb. átmérő szerint):...200, 250, 320, 400, 500, 630, 800, 1000 mm,... $\varphi=1,25$.

Felületi érdességek paramétersora: 100, 50, 25, 12,5, 6,3, 3,2, 1,6, 0,8, $\varphi=2$,
vagy .. 80, 40, 20, 10, 5, 2,5, 1,25, 0,63 , $\varphi=2$.

Pneumatikus hengerek átmérő sora pl.:... 32, 40, 50, 63, 80,...(mm) $\varphi=1,25$,

Hidraulikus hengerek átmérő sora, pl.:...40, 50, 63, 80, 100,...(mm) $\varphi=1,25$,

Lásd továbbá a gépjárművek cm^3 sorát!

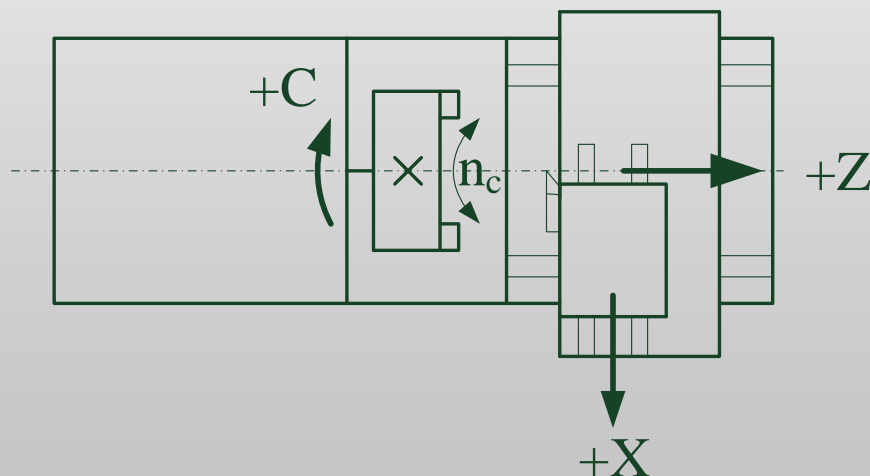
Struktúrák képzése Az egymástól függetlenül vezérelhető szánok gazdag gépstruktúrákat eredményeztek (5. ábra), pl. esztergagépeknél 6 alapváltozatot. **CNC esztergagépek struktúrái:** alapesetben két szán (**X, Z**) mozgat általában szerszámot és/vagy munkadarabot (s, m), első- vagy másodrendűen ($1,2$).

Mozgásmegosztási változatok ismétléses variációval: $V_n^{k,i} = n^k = 2^2 = 4$

Rendűség változatok permutáció számítással: $P = m! = 2! = 2$ képezhetők.

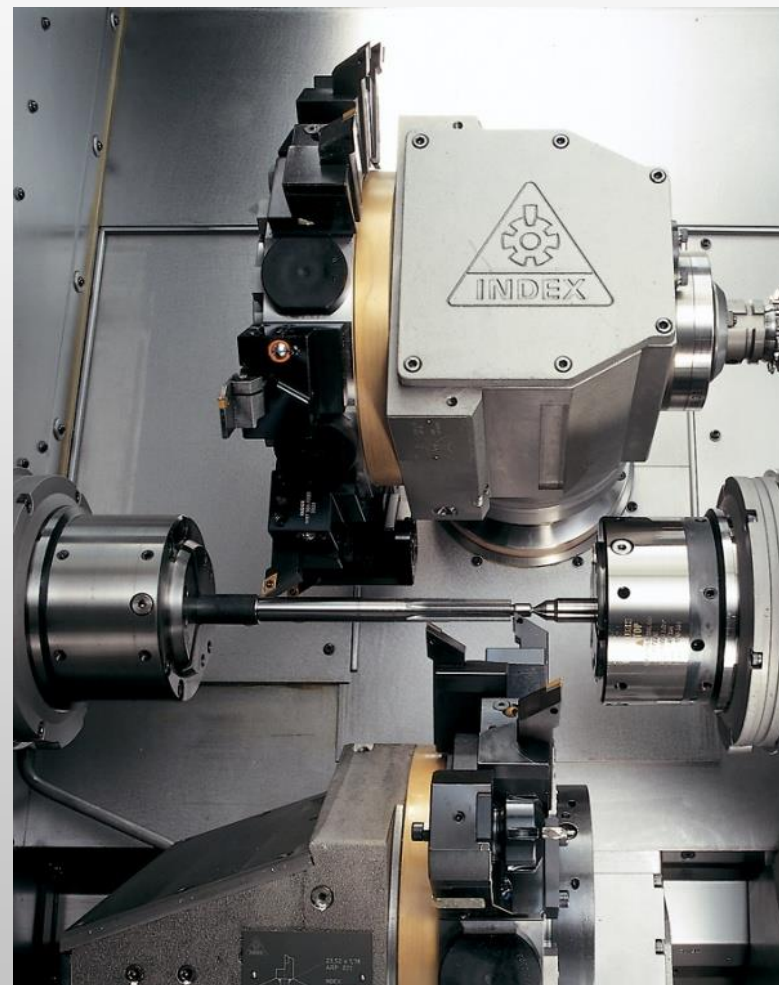
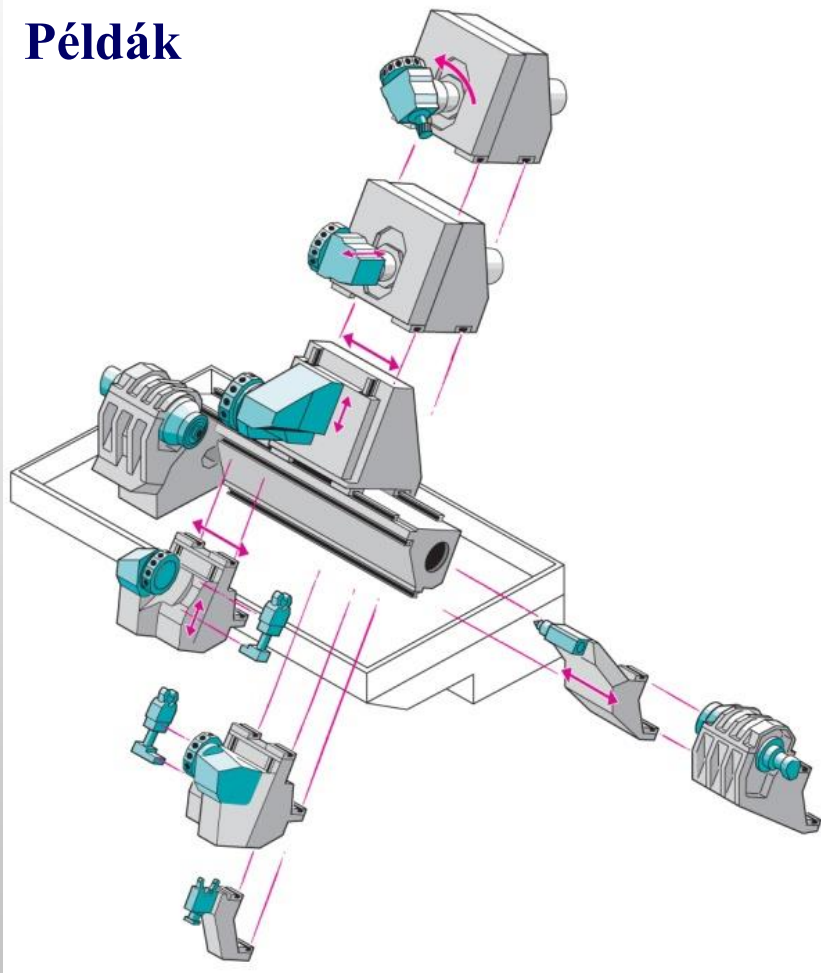
Összes változat száma pl. esztergagépeknél: 6 db.:

1. $X_{s1} \quad Z_{s2}$
2. $X_{s2} \quad Z_{s1}$
3. $X_{m1} \quad Z_{m2}$
4. $X_{m2} \quad Z_{m1}$
5. $X_{s1} \quad Z_{m1}$
6. $X_{m1} \quad Z_{s1}$



5. ábra: NC esztergagép koordinátarendszere
A rövideszterga struktúra kódja: X_{s2}, Z_{s1}
(DIN 66217 szerinti koordinátarendszer)

Példák



G20 esztergagép család moduláris
struktúra-kialakítása (INDEX)

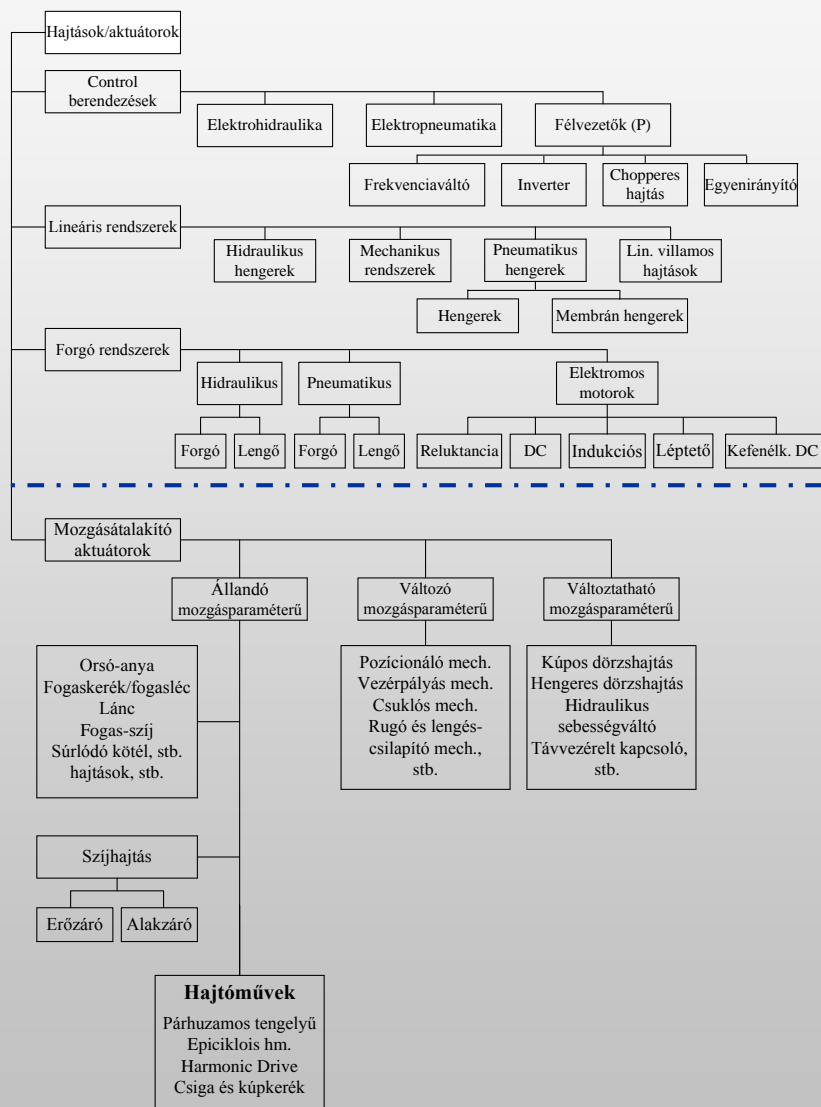
Valamely G20 eszterga-maró
megmunkáló központ munkatere

1.4 Aktuátor láncok

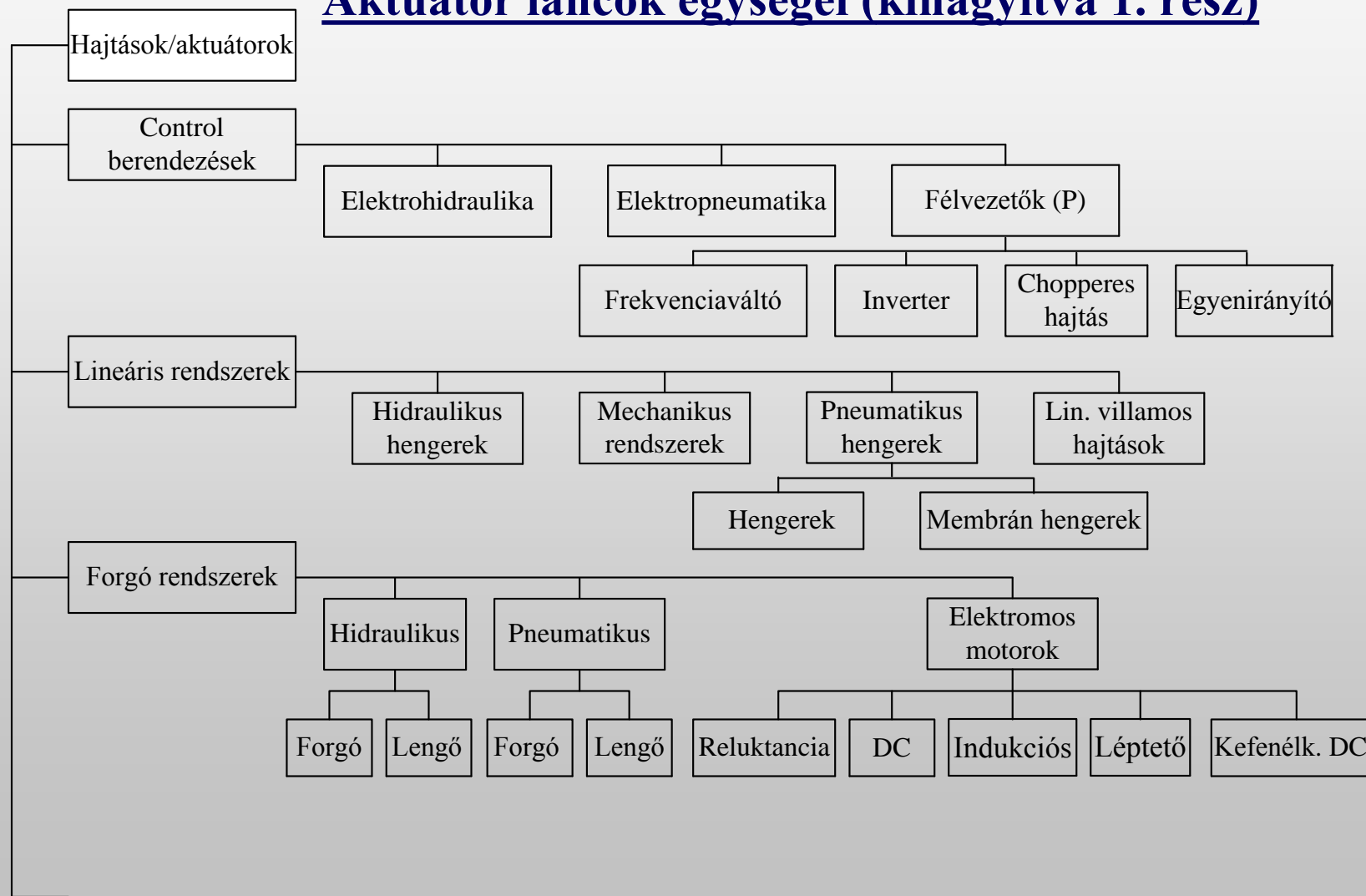
Az aktuátor láncok egységei részletesen a következő lapon! **Csak tájékoztatásra!**

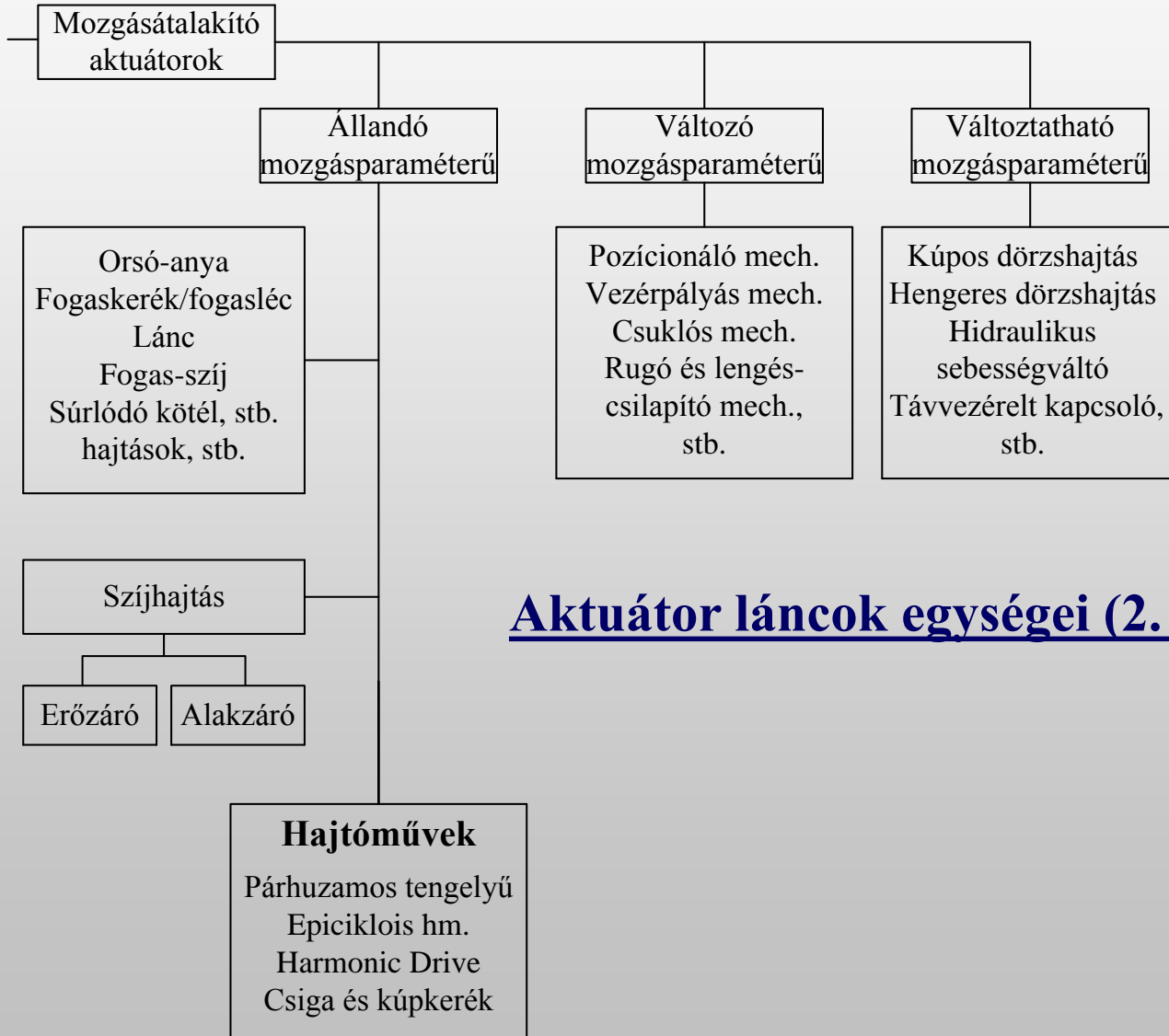
1. rész

2. rész



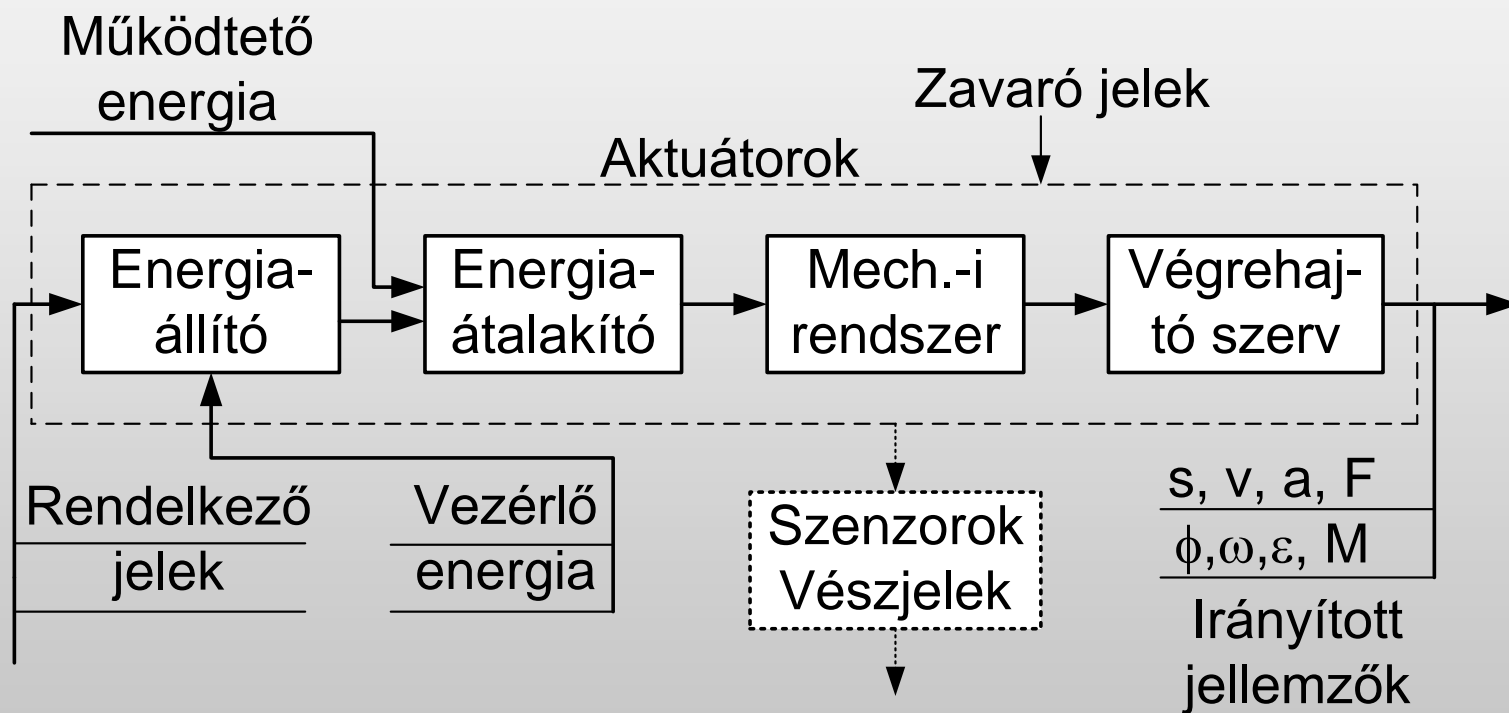
Aktuátor láncok egységei (kinagyítva 1. rész)





Aktuátor láncok egységei (2. rész)

Aktuátor láncok részei



6. ábra: Egy mechatronikai rendszer aktuátor láncának példája



1.5 Energiaátalakítók

Energiaállító-Működtető energia-Rendelkező jelek

A rendszer feladata az, hogy az „**Energia átalakító**” egység számára a megfelelő paramétereket beállítsa a „**Rendelkező jelek**”(Utasítások) alapján. A beállításhoz „**Vezérlő energia**” szükséges. Például egy villamos motor fordulatszámát, és ezáltal egy szerszámgép főorsó fordulatszámát, vagy egy előtoló hajtás munkameneti sebességét kell megváltoztatni, pl. **frekvencia szabályozással**.

Energia-átalakító

Legismertebb energia-átalakító a **Villamos motor**, ami a „Működtető villamos energiá”-t mechanikai energiává alakítja.

A **pneumatikus, vagy hidraulikus motor** a Fluidenergiát alakítja át mechanikaivá. A kinematikai lánc elején azonban rendszerint itt is Villamos motor található, amelynek energiáját mechanikai energiává alakítva kompresszort, vagy szivattyút működtetünk! Továbbiakban ezt a fluid-energiát alakítjuk át mechanikaivá hidraulikus, vagy pneumatikus motor segítségével.



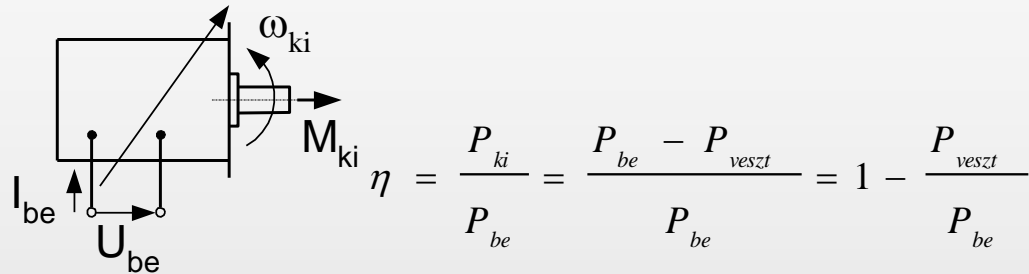
1.5 Energiaátalakítók, energiafajták

Megállapodás: működtető energiaként a továbbiakban olyan energiákat tekintünk, amelyek ***hálózatról levehetőek***, a berendezések elhelyezését nem befolyásolják, vagy azt a berendezés mellé telepíthető energiaforrás adja. A legkézenfekvőbb, és legrugalmasabb energiaforrás villamos, amelyet a legtöbb mechatronikai berendezésnél használnak. A villamos energiát különböző energia-átalakítók teszik alkalmassá másfajta energia kifejtésére.

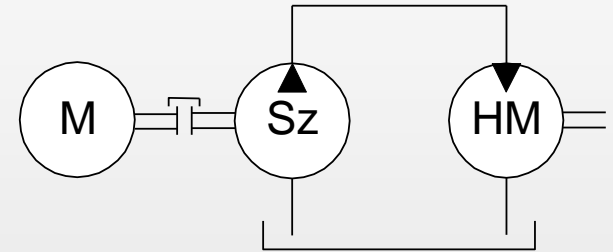
Villamos - mechanikai energia-átalakítók

A villamos forgómotor kapcsain keresztül betáplált villamos teljesítmény (P_{vill}) a motor tengelyén mechanikai teljesítményként (P_m) jelenik meg, ez legtöbbször további mechanikus aktuátorok kiinduló láncszeme (7. ábra).

Villamos motorok típusai: egyenáramú, szinkron, aszinkron, léptető.



7. ábra: Villamos-mechanikai energia-átalakító vázlata



8. ábra: Villamos-mechanikai-fluidmechanikai-mechanikai energia-átalakító vázlata

Villamos-mechanikai-fluidmechanikai-mechanikai energiaátalakítók

A motorhoz kapcsolt szivattyú a mechanikai teljesítményt (P_m) fluidmechanikai (pl. hidraulikus) teljesítménnyé (P_{fl}) alakítja át, amelyet azután mechanikai munka (P_m) végzésére használunk fel (8. ábra).

Azonos energiatípusok esetén azonos típusú aktuátorok kapcsolódnak, pl.: *villamos-villamos, mechanikai-mechanikai, fluidmechanikai-fluidmech..* **Energia átalakításkor** a hasznos levehető teljesítmény csökken az átalakító egység hatásfokától függően.



A különböző energiatípusoknak megfelelő teljesítmények ismert formuláit a következőkben foglaljuk össze. Ezekkel egyszerű a hatásfokok kiszámítása.

Energiaátalakítók, energiatípusok

Teljesítmény összefüggések (*Potenciál x Áramlásérték!*)

1. Mechanikai teljesítmény

- *Haladó mozgásnál: $P_m = v \times F$ (Nm/sec=Watt), ahol v (m/sec) sebesség, F (N) erő.*
- *Forgó mozgásnál: $P_m = \omega \times M$ (Nm/sec=Watt), ahol ω (1/sec) szögsebesség, M (Nm) nyomaték.*

2. Villamos teljesítmény

- $P_{vill} = U \times I$ (VA=Watt), ahol U (V) feszültség, I (A) áramerősség.

3. *Fluidmechanikai (hidraulikus) teljesítmény*

$P_{fl} = p \cdot Q$ (Nm/sec=Watt), ahol p (N/m²=Pa) nyomás, Q (m³/sec) térfogatáram.

4. *Termikus teljesítmény*

$P_{hő} = \Delta T \cdot h \cdot A$ (Watt), ahol ΔT (°C) hőmérsékletdifferencia, h (W/m²°C) hőátadási tényező, A (m²) hőátadási felület.

5. *Kémiai teljesítmény* (belsőégésű motorok)

$P_m = H_a \cdot B \cdot \eta_{\circ} = M \cdot \omega$ (J/sec=W), ahol H_a (J/kg) tüzelőanyag fűtőértéke, B (kg/sec) az időegység alatti üzemanyag fogyasztás, η_{\circ} a rendszer összhatásfoka (37-44 %).

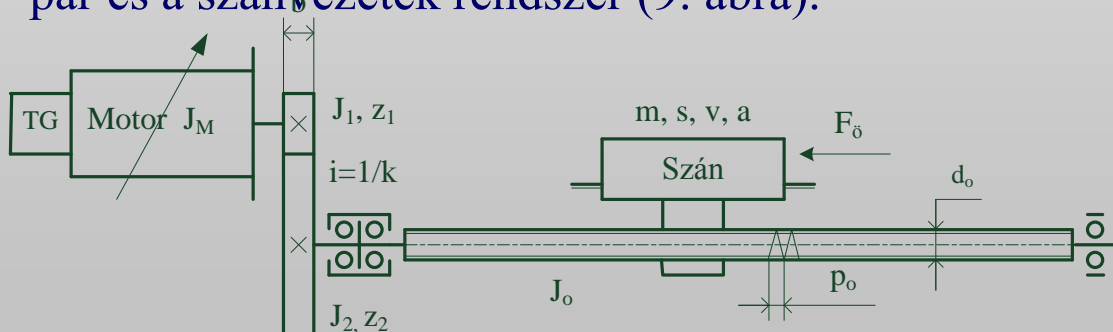
2. Mechanikai aktuátorok - Példák az CNC szerszámgépek köréből

A mechanikai rendszer a feladathoz illeszkedően sokféle lehet, és a tartóelemen helyezkedik el. Például egy **CNC szerszámgép főhajtóművében**

a motor után elhelyezett 2-3-4 fokozatú fogaskerekes főhajtómű egység, a hozzá kapcsolódó szíjhatások és főorsó képezik a mechanikai rendszert, ami

Teljesítményhajtásnak tekinthető, amelyet *kis fordulatszám tartomány és szabályozhatóság, és nagy teljesítmény* /pl. 10-40 kW/ jellemzi. CNC- Computer Numerical Control /Számítógépes Számjegy Vezérlés/.

NC előtoló hajtásnál /Kinematikai hajtás/ a mechanikai rendszer elemei, egységei lehetnek pl. a motortól induló fogaskerék, vagy fogas-szíj hajtás, a golyósorsó-anya pár és a szánvezeték rendszer (9. ábra).



A **Kinematikai hajtást** *nagy fordulatszám /sebesség/ szabályozhatóság és kis teljesítmény* /pl. 0,5-4 kW/ jellemzi.

9. ábra: NC előtoló hajtás (kinematikai hajtás) egy lehetséges felépítése



Végrehajtó szerv

A munkavégző végrehajtó szerv a funkciótól, a különböző paramétereiktől **(s, v, a, F és φ , ω , ε , M)** függően igen eltérő lehet. Egy CNC szerszámgép Főhajtóművében /FH/ a végrehajtó szerv az aktuátorlánc végén álló **Főorsó**, Előtoló hajtásoknál a **Szán**, amely Sz.-ot, vagy Mdb.-ot és a készüléket hordozza.

Szenzorok, vészjelek

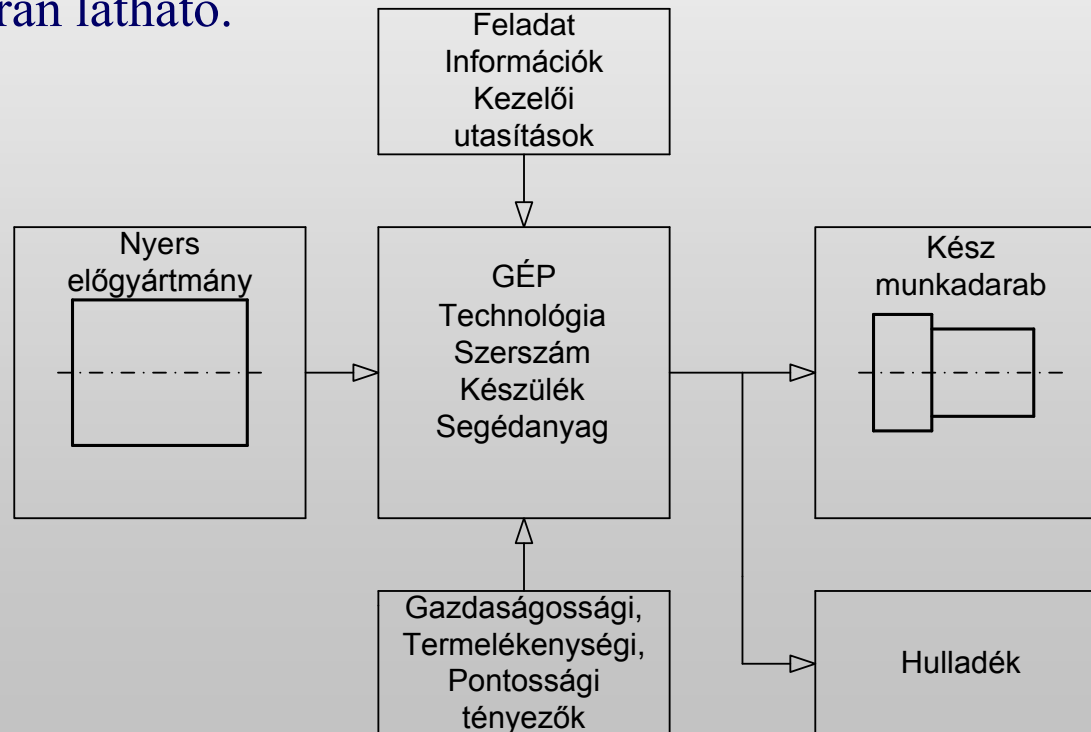
A mechatronikai rendszerekben a folyamatokat szenzorok felügyelik, amelyek lehetnek pl. **induktív, kapacitív, mágneses, optikai, ultrahangos** szenzorok. Ezek az emberi érzékszerveket helyettesítik az automatikus folyamatok felügyeleténél. Ismert példa a gépjárművek blokkolásgátló, **ABS** (Anti-lock Braking System) rendszere, ami fékezéskor meggátolja a gépjármű kerekeinek megcsúszását, vagy az **ESP** (Electronic Stability Program/Menetstabilizátor).

Zavaró jelek

Zavaró jelek mindenütt megjelenhetnek, amit célszerű kiszűrni, kompenzálni. Jó példák erre a régi és új kézi szerszámgépek hálózat zavaró hatása, illetve annak kiszűrése, stb. De említhetők pl. a vizes, havas, kavicsos utak változó útv., stb.

Szerszámgépek (Mechatronikai berendezések) működésére jellemző modell

Példaként a mechatronikai rendszerek **Aktuátorainak** áttekintésére és vizsgálatára a következő szemeszterben előadásra kerülő CNC szerszámgépeket vesszük alapul, aminek tanulását elektronikus tananyag is segíti. Ezek egyfajta működési modellje a 10. ábrán látható.



10. ábra: Szerszámgépekre jellemző egyfajta működési modell



A szerszámgépek működési modelljének elemei

A nyers előgyártmány anyagminősége befolyásolja a forgácsolási paramétereket, és a szerszámmal és a technológiával összefüggésben meghatározza a forgács alakját. Kiinduló mérete a kész munkadarab méreteihez viszonyítva az anyagleválasztás folyamatát határozza meg. **Ezek a Változó feltételek!**

A SzerszámGÉP a reá jellemző *technológiákkal, szerszámokkal, készülékekkel és a szükséges segédanyaggal* (pl. hűtő-kenő folyadék) a gyártás viszonylag **Állandó feltételeit jelentik!** A feladat megoldásához, a megmunkáláshoz a gép számára a következő **Információk** szükségesek:

- **geometriai** (méretek, pl. átmérő, hossz stb.),
- **technológiai és kapcsolási** (előtolás, vágósebesség, stb.),
- **időrendi** (nagyolás után simítás és nem fordítva!).



A Gazdaságosság, Termelékenység, Pontosság követelmények kielégítése minden gyártás alapvető feltétele, amelyek teljesülése igen sok feltételtől függ.

A kész munkadarabra előírt **Méret- Helyzet- és Alakpontossági**, továbbá **Felületminőségi előírásokat** a **Munkadarab-Készülék-Gép-Szerszám (MKGS)** rendszerben kell teljesíteni.

A gyártási folyamatban keletkező **hulladék** lehet újrahasznosítható (forgács, hűtő-kenő folyadék), vagy nem hasznosítható mint pl. az abrazív szemcsék.



Gépek (Szerszámgép) fő építőegységei - Tartóelemek és anyagaik

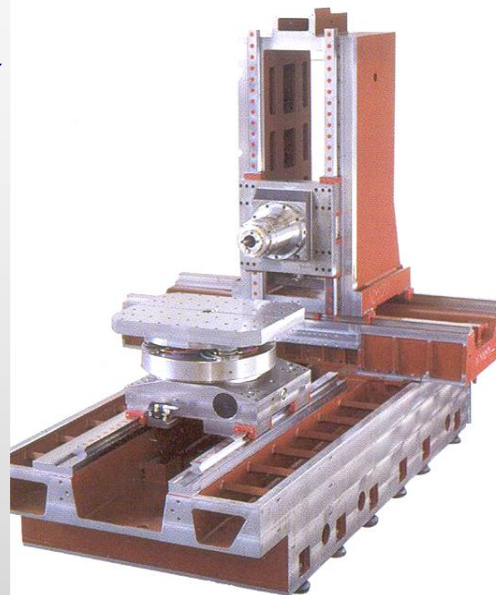
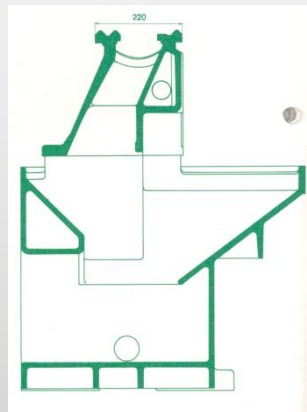
Öntvények: szürkeöntvény (acélöntvény)

- **Lemezgrafitos** jó rezgéscsillapító: $E=(8-9) \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$, (2-2,5)- szeres falvastagság a szerkezeti acélhoz képest. *Esztergagépek ágy tartóelemének anyaga, ahol az ágy zárt üregeiben gyakran bennhagyják az öntőmagot rezgéscsillapítás céljából (7. ábra). Mechanikai tulajdonságai a szövetszerkezettől, a grafit mennyiségétől, annak megjelenési formájától, a vas alapszövetétől függenek.*

Mechanite öntvény: nagy szilárdságú ötvözött szürkeöntvény.

- **Gömbgrafitos**, nagyobb szilárdság jellemzi $E=(1,7-1,8) \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, felhasználása *állvány tartóelemekhez.*
- **Hegesztett:** szerkezeti acélból, rugalmassági modulusa: $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, egyedi gyártású, elsősorban nagyméretű gépeknél.
- **Egyéb:** vasbeton, műanyag beton (élettartam problémák!), gránit nagy pontosságú (szubmikronos) gépekhez.

Példák tartóelem kialakításokra a szerszámgépek köréből

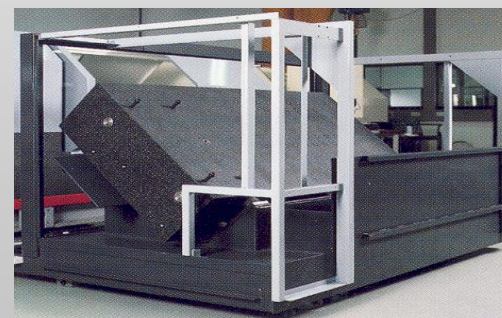


Vízszintes főorsójú
fúró-maró
megmunkáló központ
öntött tartóelemei
(Clock)

Öntött eszterga ágy keresztmetszetek
(balra: ERI-250, jobbra: EEN-320)

A zárt üregekben bennhagyott öntőmag
a rezgéscsillapítást szolgálja

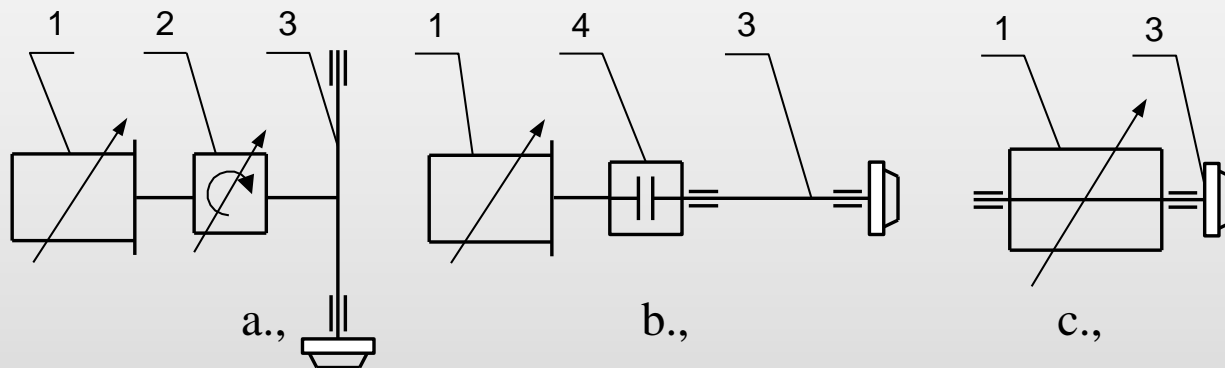
Továbbá lehet: Polimer-beton esztergagép ágy
öntöttvas felfogó közdarabokkal



Szubmikronos eszterga
gránit ágya (Hembrug)

11. ábra: Tartóelem kialakítások

Példák a Teljesítmény hajtóművek, a Főhajtóművek kinematikai megoldásaiból- Funkcióábrák



12. ábra:
CNC forgácsoló
szerszámgépek
főhajtóműveinek
funkcióábrái

A 12. ábrák a fokozatnélküli fordulatszámot előállító főhajtóművek lehetséges funkcióábráit szemlélteti. Az ábrák számozása: 1- Fokozat nélkül állítható fordulatszámú motor, 2 - Fokozatos hajtómű, vagy állandó áttétel, 3- Hajtott tengely (Főorsó), ami a végrehajtó szerv, 4- Tengelykapcsoló.

A 12.a ábra a motor és a vele sorba kapcsolt, állandó hajtóviszonyokat megvalósító, fokozatos hajtóműegységet szemléltet. A fogaskerekes, fokozatos hajtóművek ma is gazdaságos megoldásai a nyomatékerősítésnek és a fordulattartomány kijelölésnek.



Példaként említhetők a CNC szerszámgépek (esztergagép, fúró-maró megmunkáló központ, stb.) főhajtóművei, mint ***Teljesítmény hajtóművek***.

/Az **NC *Kinematikai hajtások*** a szervo-motortól a végrehajtó mechanizmusig terjedő kinematikai láncok./

A teljesítményhajtások kinematikai láncai lehetnek:

- a motor és a főorsó között valamilyen kinematikai láncsal felépülők, pl. 2, 3, ritkábban 4 fokozatú hajtóműves. 1, vagy 2 Poly-V szíjas megoldással, vagy
- koaxiális (egytengelyű) hajtások.

A **12.b megoldásban** a motor és az orsó egytengelyű (koaxiális), köztük szög- és tengelyhibát kiegyenlítő, nagy torziós merevségű, rugalmas tengelykapcsoló található. Teljesítmény hajtásokban, pl. köszörűgép, marógép, faipari felsőfejes marógép stb. alkalmazzák.

/***Kinematikai hajtások*** tipikus megoldása lehet az is, amikor a szervomotort és golyósorsót csak egy tengelykapcsoló köti össze./



A szubmikronos (mikron alatti) esztergák főorsó csapágyazása hidrosztatikus, vagy aerosztatikus lehet, pontos helyzetüket szabályozóköörökkel biztosítják. Hasonló a szánvezeték rendszerük is. A mérőgépek általában aerosztatikus vezetésűek és csapágyazásúak, lásd a ZEISS mérőgépeket!

A 12.c motororsós megoldásban a motor tengelye egyben a végrehajtó szervet is hordozza, ezáltal a közvetlen (direkt) hajtás eszköze. A motor tengelye egyben a Főorsó is, ami különböző mechanizmusokat közvetlenül mozgat. A megoldás nagy fordulatszámú teljesítményhajtásokban gyakori.

/Kinematikai hajtásoknál hasonló példa az, amikor a motor forgórésze (rotora) golyósanya kialakítású, amelyben az orsó elmozdulhat./

Alkalmazása a nagy fordulatszám (vágósebesség) igényű, könnyűfém megmunkálásoknál található, ahol a Főorsó-Szerszám kiegyensúlyozása fontos!

Direkt villamos hajtásra a lineáris aktuátoroknál később mutatunk példát.

A kimeneten a végrehajtó szerv helyezkedik el, amely meghatározott kinematikai mozgást, erőt, vagy nyomatékot (s , v , a , F , illetve φ , ω , ε , M) ad.



Főhajtóművek-Főorsók

A főhajtóművekre, mint teljesítmény hajtóművekre a

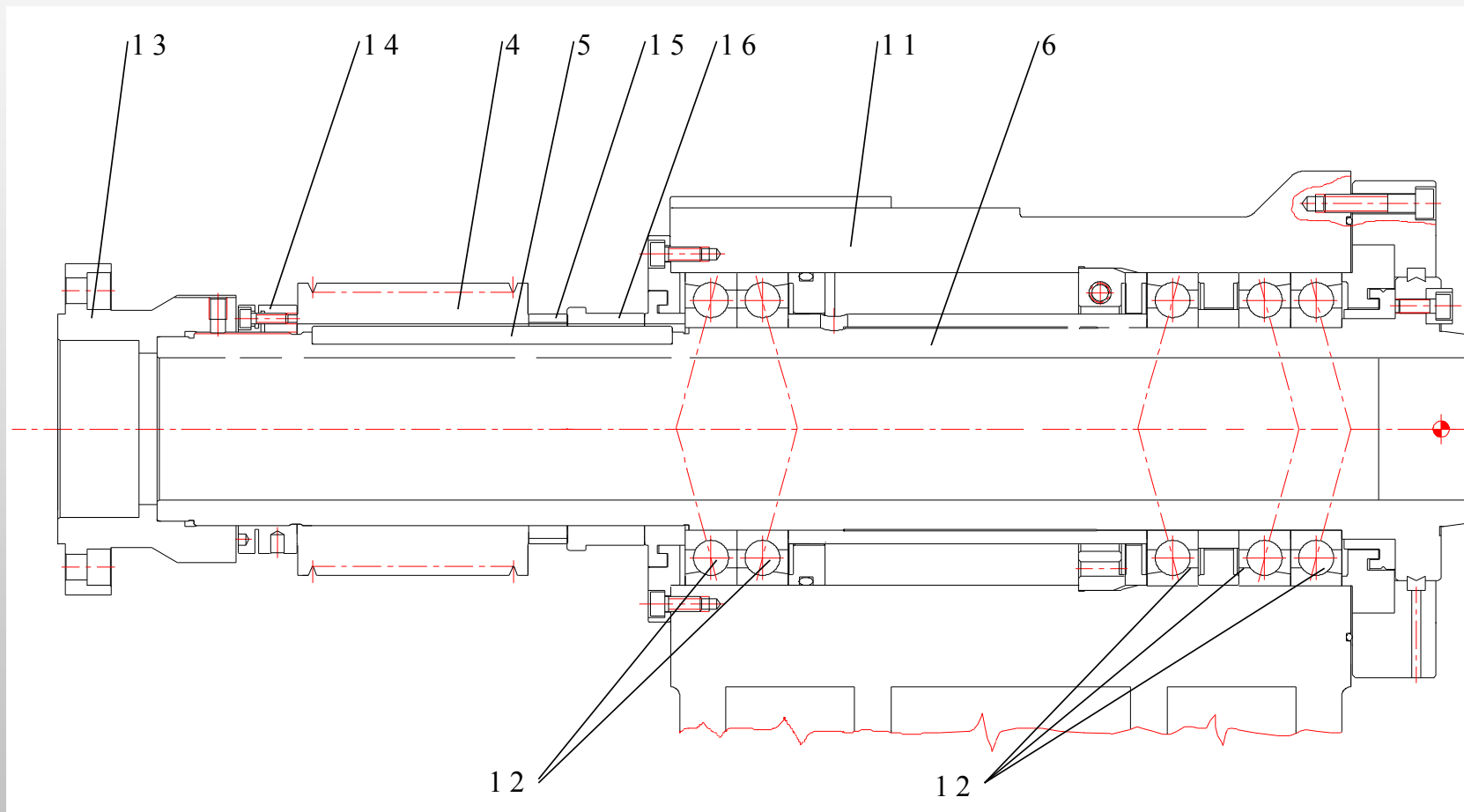
- **nagy teljesítmény és a**
- **viszonylag kis fordulatszám (sebesség) szabályozhatóság** jellemző.

Bármely megoldásban a Főorsó önálló egységként kerülhet felfogásra a tartóelem, pl. ágy bázis-felületére, ami gyakran az alapszán vezetékek bázisfelülete. Ezzel biztosított a nagyobb szerelési, megmunkálási pontosság. A főorsó szuperprecíz (SP, $\ddot{u}=2-5 \mu\text{m}$), vagy ultraprecíz (SP, $\ddot{u}=1-3 \mu\text{m}$) pontosságú gördülő csapágyazással készül, leggyakrabban ferde hatásvonalú golyóscsapágyazással ($\ddot{u}=2 \cdot e$ a főorsó ütésének, excentricitás 2-szeres értéke).

A főhajtóművek legfontosabb egysége a főorsó, amelynek feladata:

- **Munkadarab** befogás, rögzítés nagy tömegeknél pl. esztergáknál, vagy
- **Szerszám** befogása nagy fordulatszámú gépeknél, pl. fúró-marógépeknél,
- **Teljesítmény, Nyomaték** leadása a megmunkálás helyén,
- **Megmunkálási pontosságának** biztosítása.

Főorsó szerkezeti kialakítása-csapágyazás egy esztergagép példáján



13. ábra: SL 320 HS CNC esztergagép főorsója (Excel Csepel Kft.)



Főorsó csapágyazások (lásd a 13. ábra, továbbá 14. ábrákon)

Gördülő (96-98 %), gyakori típusai:

- **Kúpgergős** csapágyakkal: nagy terhelés, viszonylag kis fordulatszám ($n_{\max} \cdot d_{\text{köz}} = 250.000$ mm ford/min) – nagy terheléseknél,
- **Kétsorú** hengergergős csapágy+ferdehatásvonalú golyóscsapágy ($n_{\max} \cdot d_{\text{köz}} = 500.000$ mm ford/min) – nagy terheléseknél,
- **Elől ferde-hatásvonalú** golyós ($15^\circ, 25^\circ$), hátul hengergergős ($n_{\max} \cdot d_{\text{köz}} = 750.000$ mm ford/min) hátul a nagy szíjfeszítés miatt,
- **Elől, hátul ferde-hatásv.** golyós ($15^\circ, 25^\circ$), ($n_{\max} \cdot d_{\text{köz}} = 10^6$ (mm ford/min)),

Előfeszítések: L (Leicht-f=0,65-0,8), M (Mittel-f=0,5-0,75), H (Hart-f=0,3-0,5)

A megengedett fordulatszám: $n^* = n_{\text{névl}} \cdot f$,

Sikló és hidrodinamikus (mechatronikában ritkán alkalmazott)

Hidrosztatikus nagy pontosságú, szubmikronos gépeknél.

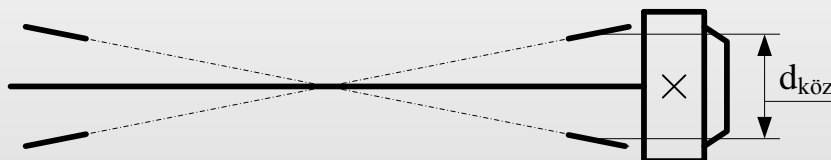
Aerosztatikus nagy pontosságú szubmikronos gépeknél, pl. mérőgépeknél.

PÉLDÁK

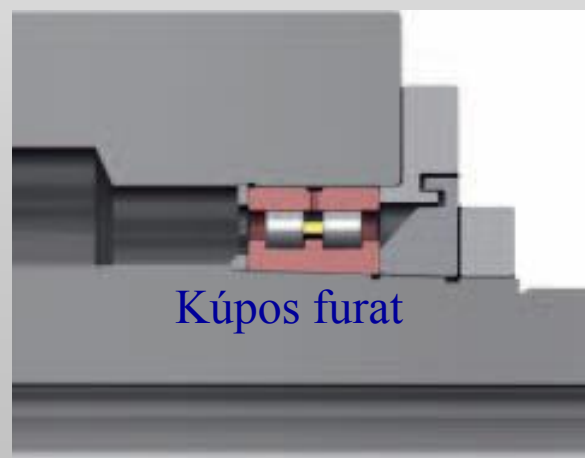
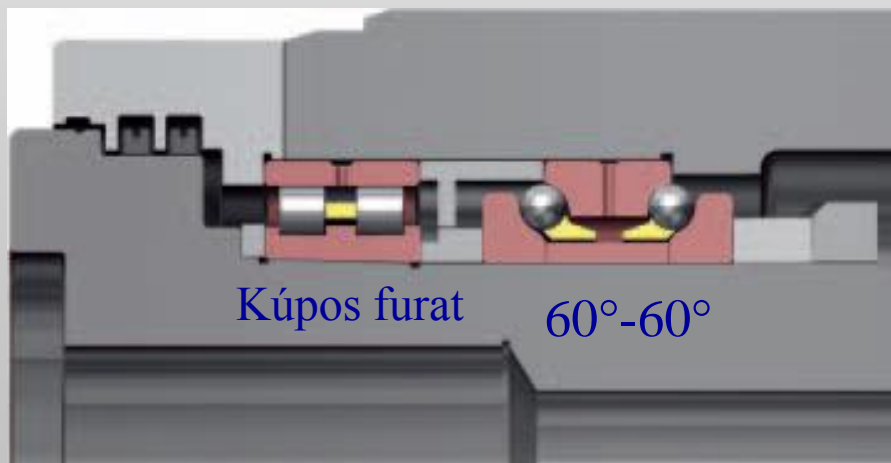
Kúpörgős csapagyazás (14. a ábra)



Elöl és hátul kúpörgős csapagyazás,
A görgők tengelyvonala a fogástengelyt
azonos helyen metszi!

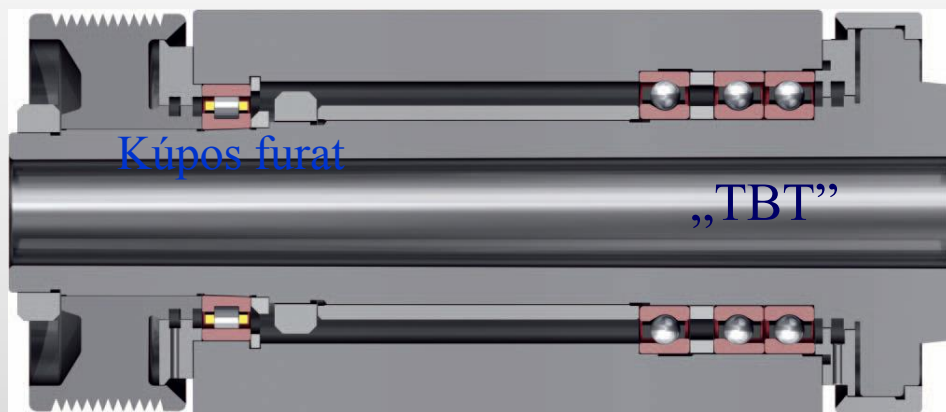


Kétsorú hengergörgős csapagy+ferdehatásvonalú golyóscsapagy (14.b ábra)

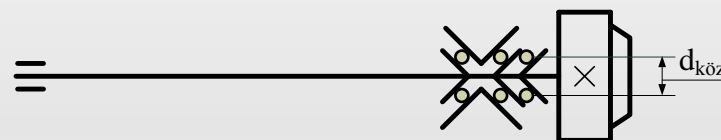


Elöl: kúpos furatú, kétsorú hengergörgős csapagy túlfeszítést megakadályozó távtartóval+Y golyóscsapagy
Hátul: kúpos furatú, kétsorú hengergörgős csapagy (**FAG**)

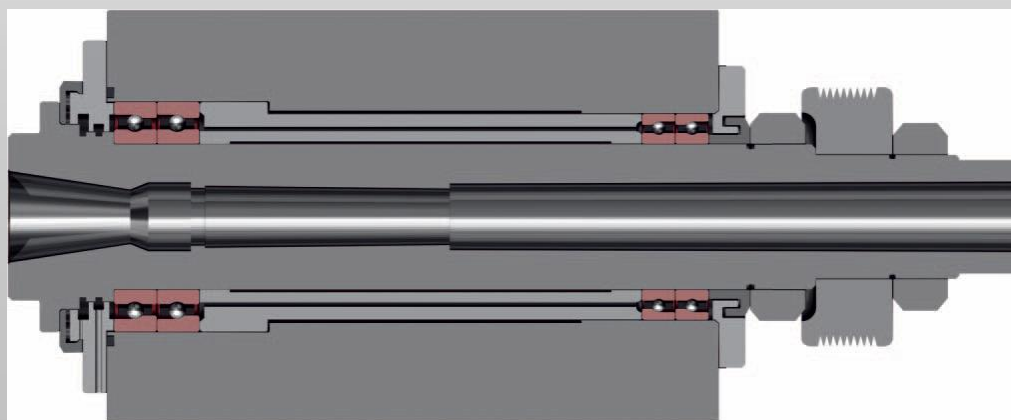
Elöl ferde-hatásvonalú golyós (15°, 25°), hátul hengergörgős cs. (14.c ábra) (FAG)



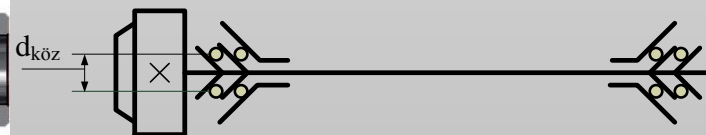
Elöl: TBT, ferdehatásvonalú golyós 2+1
Hátul: kúpos furatú, kétsorú hengergörgős

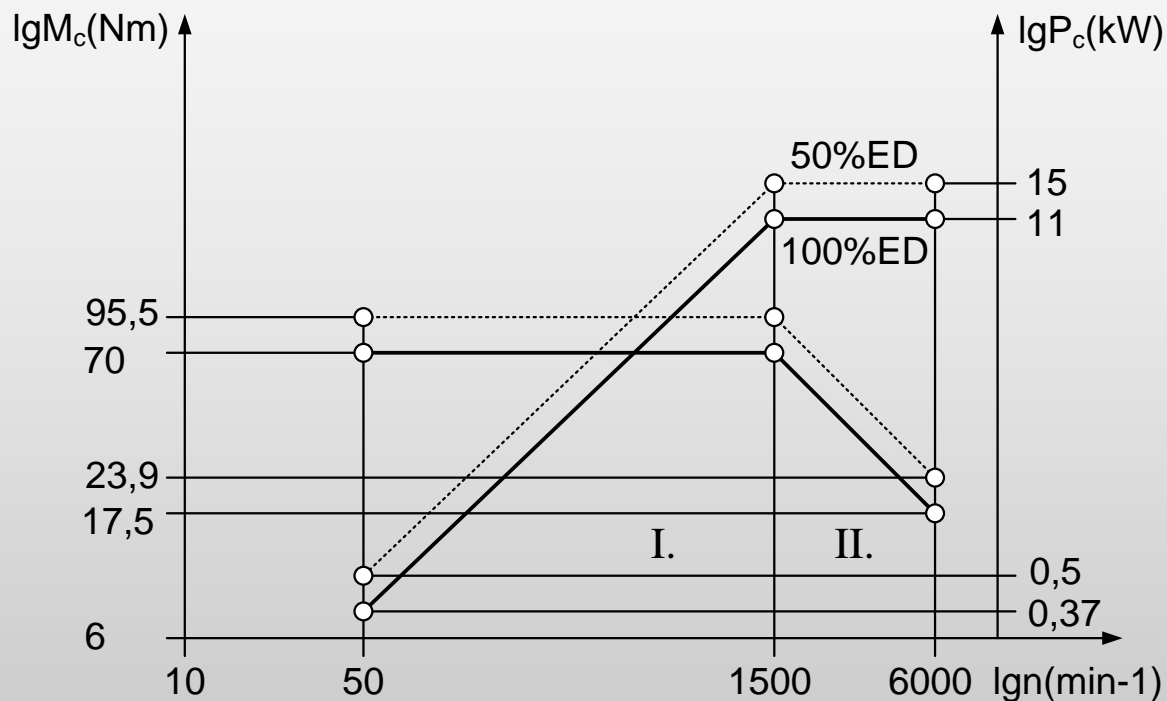


Elöl és hátul ferdehatásvonalú golyóscsapágyak (14.d ábra) (FAG)



Elöl és hátul: QBC, ferdehatásvonalú golyós csapágyazás





15. ábra: SL 320 HS CNC esztergagép teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai (Excel Csepel Kft.)

Motor fordulatszám szabályozási módok

I.-Kapocsfeszültség szabályozás
(50 ÷ 1500/2000 1/min)

II.-Mezőgyengítéses szabályozás
(1500 ÷ 6000 1/min)

III.-*Vegyes (itt hiányzik)*

Motor üzemmódok

$b_i\% = 100\%$, vagy 40%, 50%
 $b_i\%$ -bekapcsolási idő
(máshol ED-Einschaltdauer)
/folytonos, szakaszos, rövid/



2. Mechanikai aktuátorok rendszerezése

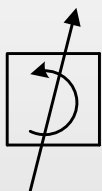
A mechanikai aktuátor láncok *elempárjai* a kinematikai- és erőviszonyok (nyomatékviszonyok) megváltoztatására szolgálnak. Megvalósítási típusaik:

<i>2.1 FORGÓ-FORGÓ</i>	<i>2.2 FORGÓ-HALADÓ</i>
<i>2.3 HALADÓ-FORGÓ</i>	<i>2.4 HALADÓ-HALADÓ</i>

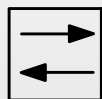
2.1 FORGÓ-FORGÓ mozgásátalakítók

- *Fogaskerék-hajtások*: a hengeres fogaskerekes, kúpfogaskerekes és csigahajtások.
- *Szíjhajtások*: erőzárók (ékszíz, lapos-szíz és Poly-V szíz, zsinór), amelyek megfelelő működéséhez szíj feszítés szükséges, továbbá alakzáró szíjhajtások, mint fogas-szíz hajtás.
- *Dörzshajtások* (itt ritkán).

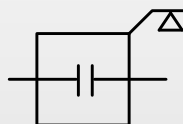
Aktuátorláncok további szerkezeti egységeinek jelölései



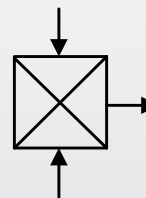
Mozgásnagyság
meghatározó
hm. egység



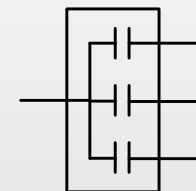
Írányváltó



Nyomatékhatároló
tengelykapcsoló



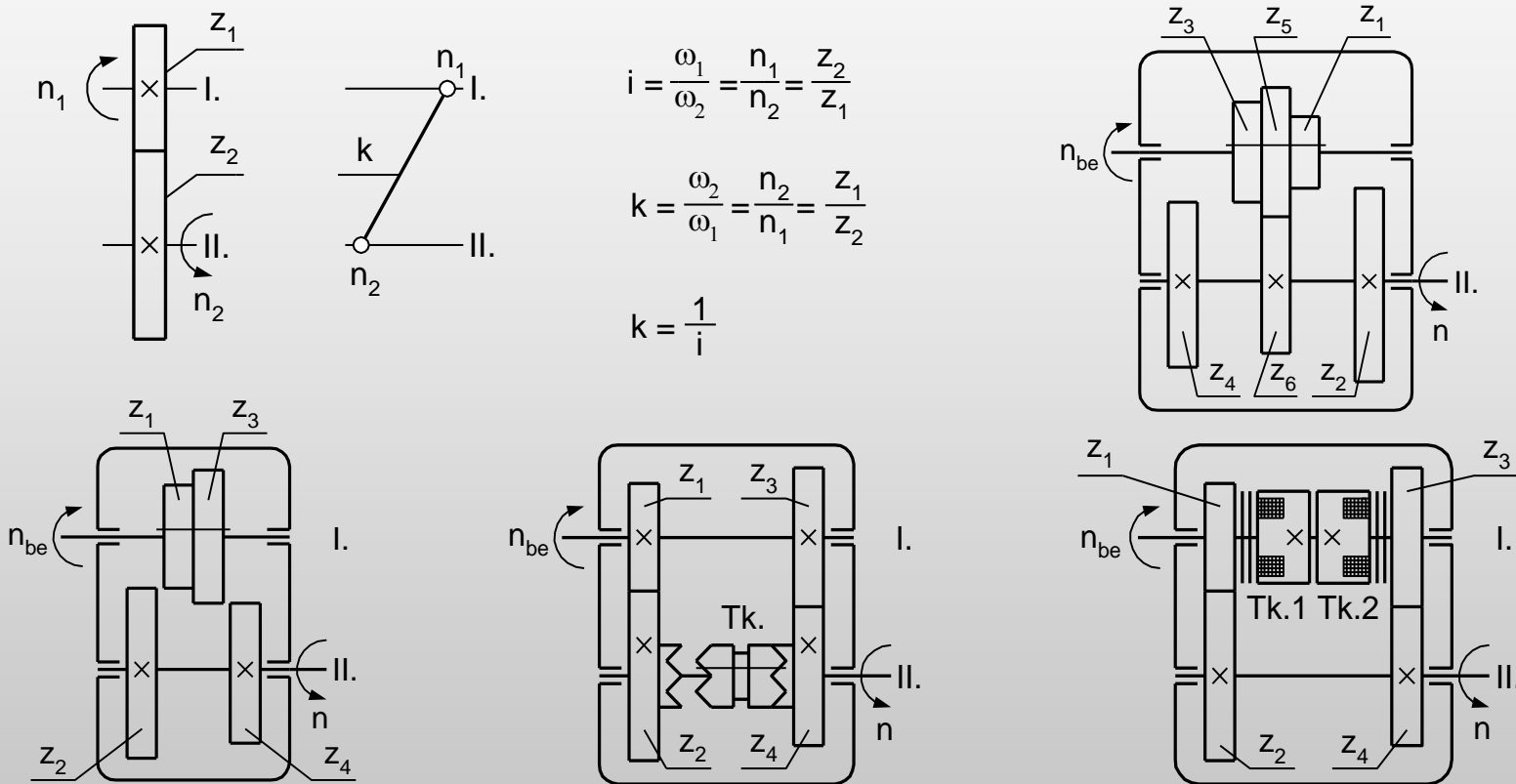
Mozgásösszegző
(bolygómű)



Mozgás
szétágasztató

17. ábra: Szerkezeti egységek jelképi jelölései

Fogaskerék-hajtások: hajtóművek és irányváltók



18. ábra: Homlok fogaskerekes kapcsolatok

Felül: egylépcsős és háromfokozatú elemi hajtómű egység

Alul: kétfokozatú hajtómű egységek: fogaskerék kapcsolású, mechanikus tengelykapcsolós, elektromágneses tengelykapcsolós



Fogaskerékajtások elemi egységei: hajtóművek és irányváltók

A 18. bal felső ábra állandó **k**-hajtóviszonyú (**i**-áttételű) hajtást mutat. A **k** hajtóviszony a hajtó és hajtott fogaskerekek fogszámainak hányadosa ($k=z_1/z_2$), az **i** módosítás reciproka, amellyel a kihajtó fordulatszámok közvetlenül kifejezhetők ($n_{ki}=k \cdot n_{be}$)!! Az egylépcsős egység (lehet kétlépcsős

is) állandó, vagy változtatható (cserélhető) hajtóviszonyú.

A 18. jobb felső ábra **háromfokozatú**, tolótömbös elemi hajtóműegységet szemléltet. A **fogaskerék kapcsolási és tengelykapcsoló** funkciót is ellát, amit vagy siklóretesz, vagy bordás tengely biztosíthat.

A 18. alsó ábrák **kétfokozatú** elemi hajtóműegység háromféle megvalósítását (tolótömbös, mechanikus és elektromágneses tk.-ós) szemléltetik.

A fenti hajtóműegységekből változatos összetett hajtóművek képezhetők soros, ritkábban párhuzamos kapcsolással (régebbi szerszámgépeknél).

Tengely-agy kapcsolat lehet: fészkes retesz, Ringspann feszítőgyűrűs kötés, ami egyre gyakoribb (szíjtárcsáknál, nagy fordulatszámoknál, stb.), vagy axiális elmozdulást is biztosító siklóretesz és bordás tengely-agy kötés,



Egyenes és ferdefogú hengeres fogaskerekek gyártóeszközei

A fogaskerekek gyártására ma leggyakrabban az alábbi eljárásokat alkalmazzák, a ritkábban alkalmazott módokat itt nem tárgyaljuk.

- **Profilozás**, azaz a fogároknak megfelelő profilú szerszámos megmunkálás:
 - Marással nagyméretű, nagymodulú fogaskerekeknél (szakaszos osztás)
 - Üregeléssel nagyobb sorozatú gyártásban (autóipar, belső fogazatok).

- **Lefejtés** a leggyakoribb, legszélesebb körben alkalmazott eljárás.

A fogazatokat burkoló felületként állítják elő határozott, vagy határozatlan élű szerszámmal:

- Szakaszos osztással, vagy
- Folytonos osztással (lefejtéssel), ami termelékeny eljárás.

A fogazatok gyártása történhet közvetlen, illetve közvetett leképzéssel:

- **Közvetlen leképzésnél** a szerszám:
 - Az alapprofilnak megfelelő fésűskés (Maag eljárás), befejező megm.-nál köszörűszerszám (Niles eljárás)- szakaszos lefejtés, vagy
 - Ellenkerék profilú metszőkerék (Fellows eljárás)- szakaszos lefejtés.

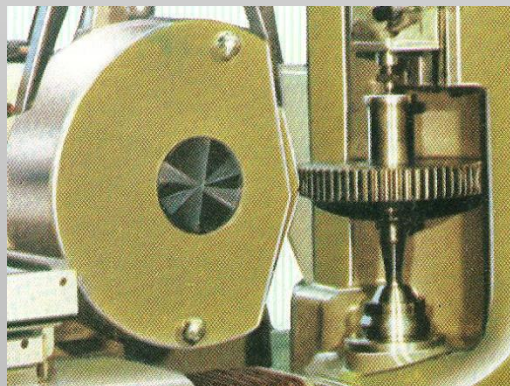
Fogazó szerszám alakok (19.a ábra)



Fésűskés
 $m=9,875(10)$ mm, $\alpha=15^\circ$
félsimító

Metszőkerék
 $m=6,5$ mm, $\alpha=20^\circ$,
 $z=16$, HSS

Lefejtő maró
 $m=3,667(3,75)$ mm
 $\alpha=3^\circ 20'$



FK 326-10 csigakorongos fogaskerék köszörűgép
($\alpha < 1^\circ$)
(Excel Csepel Szerszámgyártó Kft.)



Hengeres fogaskerekek fogazatai

Elemi: általános célú használatra, kevésbé igényes helyeken.

Profileltolásos - Kompenzált: célja kis fogszámoknál az alámetszés elkerülése, jobb csúszási viszonyok, hatásfok és nagyobb terhelhetőség elérése.

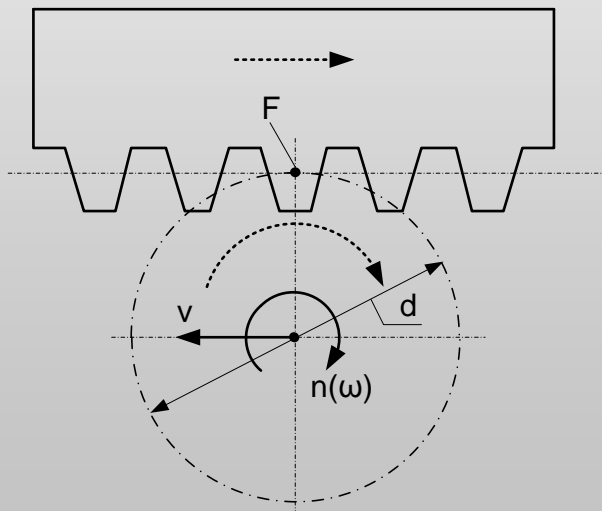
$$|x_1| = |-x_2| \text{ és } x_1 + x_2 = 0$$

Profileltolásos - Általános: Jó teljesítmény átvitel és jó hatásfok! Ilyen fogazat kapcsolódásnál a tengelytáv megnő az elemihez képest és $x_1 + x_2 \neq 0$!

Egyenes és ferdefogú hengeres fogaskerekék gyártóeszközei

- **Közvetett leképzésnél** a szerszám, a fésűskés szerszám alapprofilról egyhengeres felületre leképzett szerszám, amivel a lefejtés folytonossá tehető:
 - lágymegmunkálásnál a szerszám a csigamaró,
 - edzett felületek megmunkálásánál a szerszám a csigakorong.

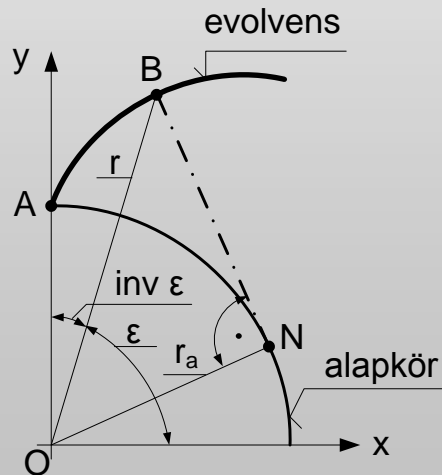
A lécpofilú szerszám alkalmazása (közvetlen leképzés)



19.b ábra: Lefejtési modell

A **Maag** rendszerű lefejtő fogazat megmunkálás kinematikai modellje (Kapcsolóvonal szöge, a fésűs kés oldalszöge pl. 20° , 15°)
Az eljárás során a fogaskereket gördítik le „álló” fogaslécen, a fogaskerek gördülő mozgását egy haladó és egy forgó mozgás eredője adja (folytonos vonal). A szerszám csak lengőgyaluló forgácsoló mozgást végez. **Az $F(G)$ gördülési pontban a relatív sebesség „0”!**

Általános körevolvens akkor keletkezik, ha az epiciklois származtatásakor legördülő kör r_2 sugara végtelen, azaz egyenest gördítünk le körön.
Megjegyzés: a körevolvensek is lehetnek: csúcsos, hurkolt és nyújtott alakúak.
A legördülő egyenest egy fogasléc osztóvonalának képzelve, és fogaslécet legördítve, a lécc metsző éleinek burkológörbéje is evolvens lesz, aminek egy részlete a fogaskerék fogprofilja. A metsző él (egyenes) osztókör feletti része nyújtott, az osztókör alatti része hurkolt evolvens görbe részt származtat.



$$AN = r_a \cdot (\varepsilon + \text{inv} \varepsilon)$$

$$BN = r_a \cdot \text{tg} \varepsilon$$

$$BN = AN$$

$$\alpha + \text{inv} \varepsilon = \text{tg} \varepsilon \rightarrow \text{inv} \varepsilon = \text{tg} \varepsilon - \varepsilon$$

Az $\text{inv} \varepsilon$ az un. evolvens szög!

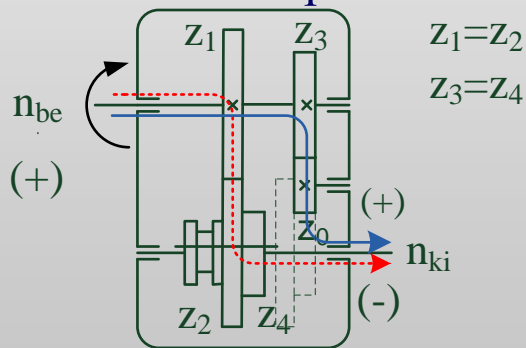
19.b ábra: Körevolvens származtatása

A *fk.-es irányváltó* valamely hajtás forgásirányának megváltoztatására szolgál. Különböző kinematikai megoldások a 20. ábrákon láthatók. A cél elsősorban nem a mozgásnagyságok, hanem a forgásirányok megváltoztatása.

A **20.a ábra** szerinti homlok fogaskerekes megoldásban a z_0 fordítókerék biztosítja, hogy a kihajtó oldalon a behajtó oldallal azonos forgásirány legyen.

A **20.b ábrán** az I.-III. tengelyek 120° -os elrendezése, és a kapcsoló fogaskerék axiális helyzetei biztosítják a megfelelő kapcsolatokat.

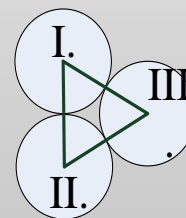
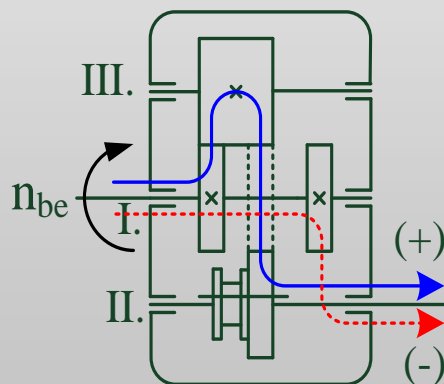
A **20.c ábra** kúpkerekes irányváltót mutat.



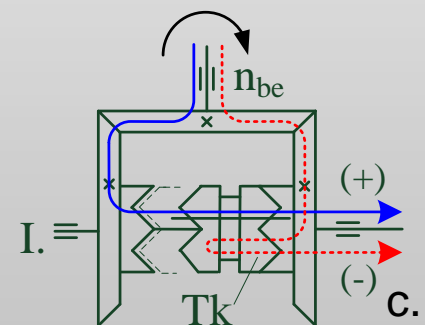
$$\begin{aligned} (+) \quad n_{ki} &= (+n_{be})(-Z_3/Z_0)(-Z_0/Z_4) = \\ &= n_{be}(Z_3/Z_4) = +n_{be} \end{aligned}$$

$$(-) \quad n_{ki} = (+n_{be})(-Z_1/Z_2) = -n_{be}$$

a.,



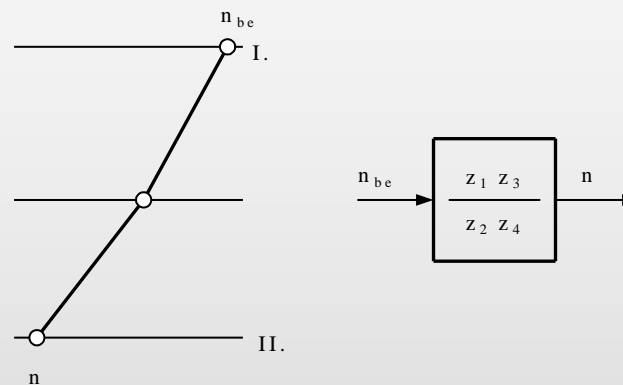
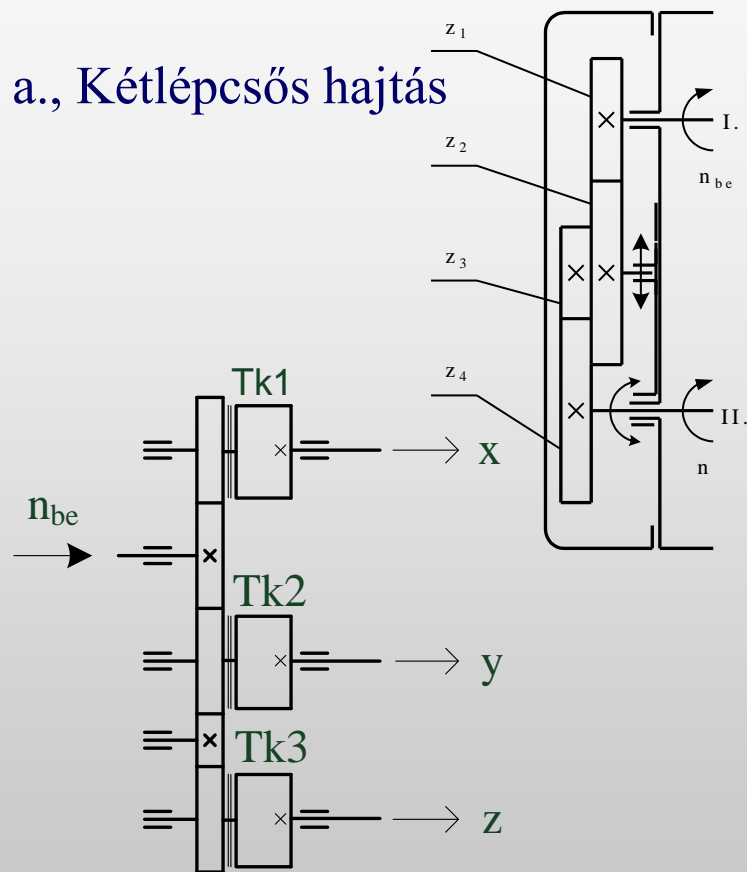
b.,



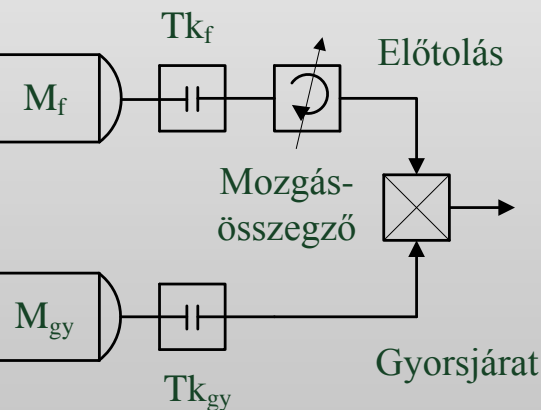
c.,

20. ábra: Fogaskerekes irányváltók

a., Kétlépcsős hajtás



b., Hajtás szétágztatás



c., Hajtásösszegzés

21. ábra: Hajtás szétágztatás és hajtás összegzés megoldásai



Fogaskerékajtások, csigahajtások hézagmentesítése

Fogaskerékajtások hézagmentesítése

A kinematikai pontosság gyakran megköveteli a fogaskerékpár, fogaskerék-fogasléc pár, csiga-csigakerék pár kis hézagokkal, vagy hézagtalan építését.

Ilyen igény merül fel pl. mérő hajtásokban, pontos pozícionáló (szán, manipulátor) hajtásokban. **Vigyázat itt a terhelést csak az egy fél fk. viszi át!**

Egyenes fogazatoknál a hajtó z_1 fogsámú fogaskereket szélességében kettéosztják. A két fogaskerék felet (z_{1a} , z_{1b}) egymáshoz viszonyítva elfordítják és hézagtalan állapotban axiálisan, pl. erőzáró kötéssel rögzítik (**22.a**).

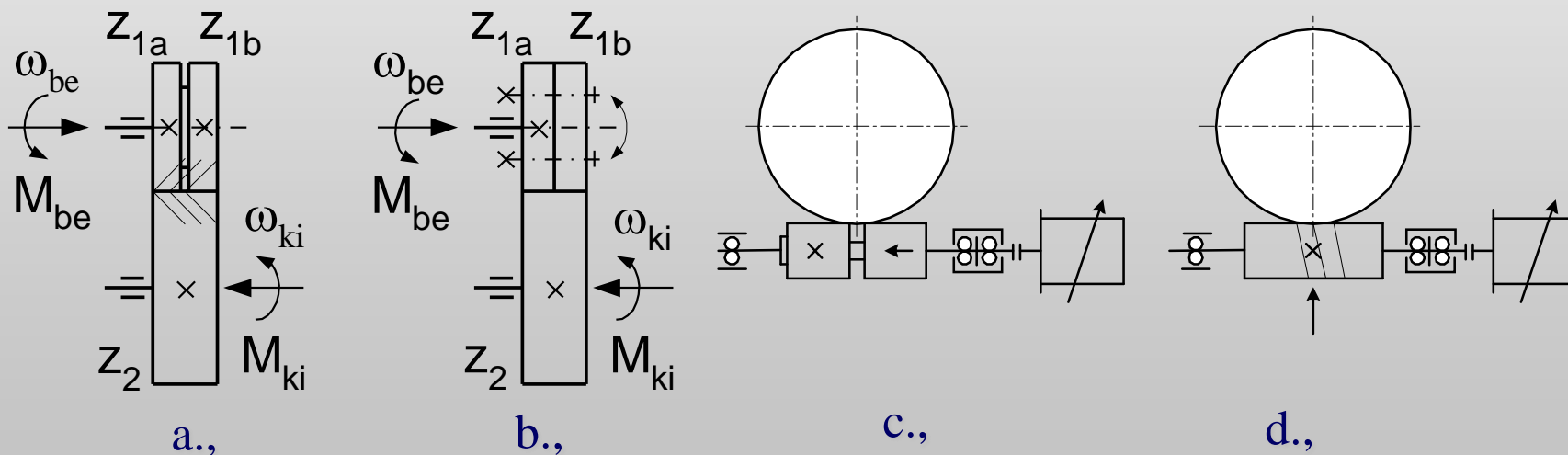
Ferde fogazatoknál az egyik fogaskereket kettéosztva és a két fél egymáshoz viszonyított axiális elállítása (pl. hézagoló tárcsával) is lehet a megoldás (**22.b**).

Csigahajtás hézagmentesítése

Hézagtalan, vagy kishézagú hajtásokat igényelnek pl. a robotcsukló hajtások, folytonos osztóasztalok (CNC körasztal, C tengely, optikai osztóasztal).

A **22.c** ábra szerinti csigahajtás pl. a precíziós osztóasztalok jól bevált megoldása. A baloldali csiga-fél a tengelyen fix helyzetű A jobboldali csiga-fél tengelyirányú (axiális) állítása szolgál a hézagmentesítésre. Az állítás lehet kézi, vagy rugós (egyirányú forgatás). Az értékes kapcsolómezőt *kis kapcsolószöggel és nagy fogmagassággal* érik el, ami jelentős hatásfok csökkenéssel jár!!

A **22.d** ábra szerinti megoldásban a csiga le-fejkorözésével, radiális állításával, vagy billentésével (pl. optikai osztóasztalok) érik el a hézagmentes állapotot.

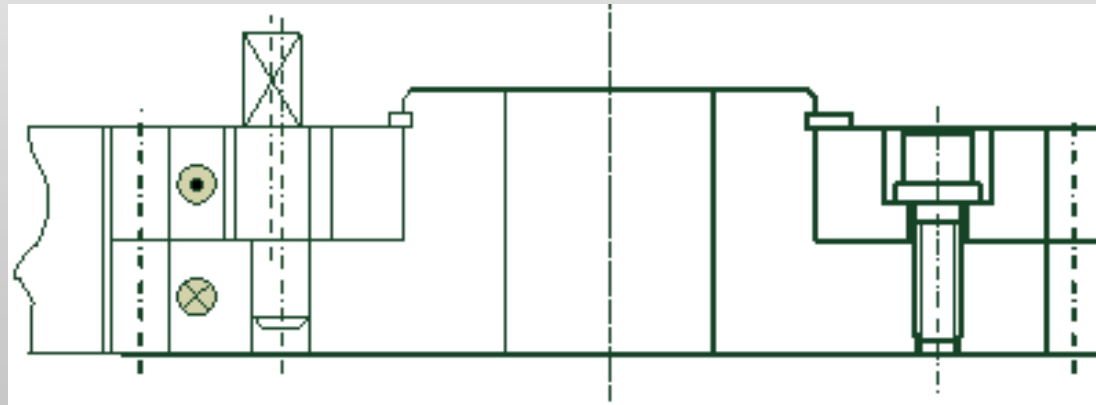


22. ábra: Hézagtalanított fogaskerék- és csigahajtások

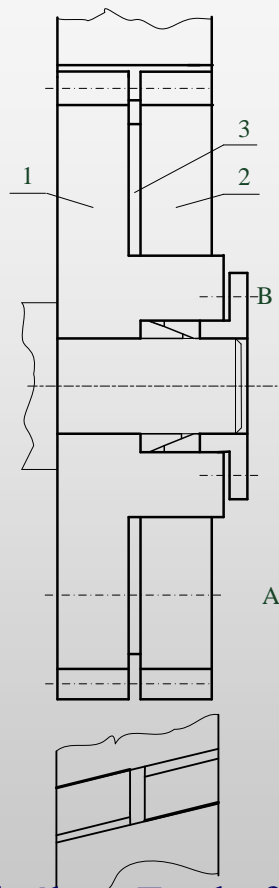


NC körasztal csigahajtása (ME, SGT)

Egyenes fogazatú hengeres fogaskerék hajtásnál egy lehetséges hézagmentesítési megoldás az, hogy a fogaskereket kettéosztják, és a két felet excenter segítségével egymáshoz képest elfordítják addig, amíg a felek hézagmentesen nem kapcsolódnak az ellenkerékkel, majd ebben a helyzetben pl. erőzáró kötéssel (itt csavarszorításokkal), vagy feszítőgyűrűs kötéssel rögzítik egymáshoz a két felet a **22.a ábra** szerinti megoldásban. Ekkor $2b$ szélességű fogaskerékre van szükség, ha a fogaskereket mindkét irányban terheljük. (Megj.: Más megoldás is lehetséges.)



22.a ábra: Egyenes fogazatú fogaskerékpár hézagmentesítése



22.b ábra: Ferde fogazatú fogaskerékpár hézagmentesítése

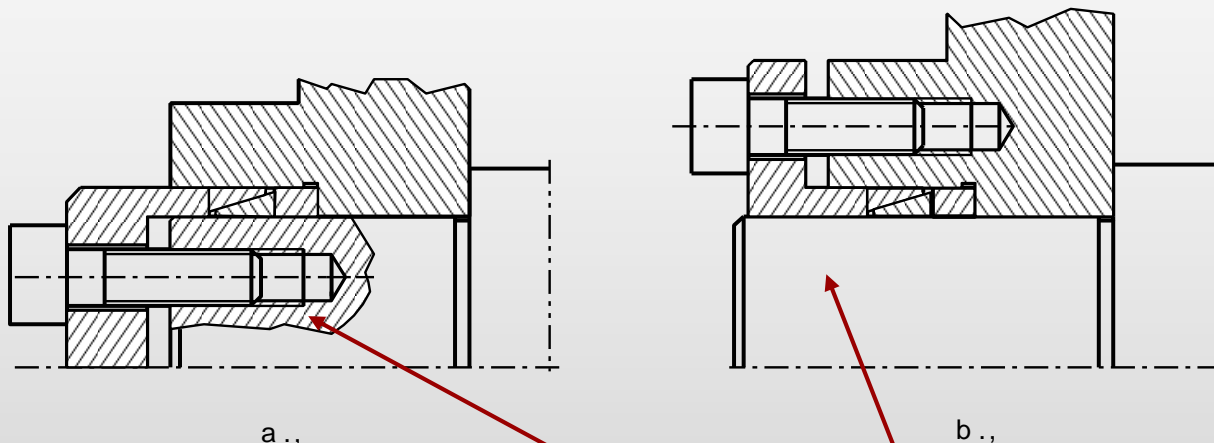
Ferde fogazatú fogaskerekek hézagmentesítésére is alkalmazható a kettéosztott kerék felek egymáshoz képesti elfordítása, és az erőzáró rögzítés (A).

Más megoldásban az osztott kerekek közé hézagoló tárcsát helyeznek (vagy rugós szétfeszítést alkalmaznak). Ekkor is lehetséges a csavarszorításos rögzítés, de alkalmazható a kerekek közötti feszítőgyűrűs kötés is (B), amit példaként a tengely és a fogaskerék között ábrázoltunk (**22.b ábra**).

Az ábra szemlélteti a két fél tengelyirányú (axiális) széthúzásának eredményét is: az osztott kerék egyik felének fogazatai a kapcsolódó kerék fogárkának egyik oldalán, a másik felének fogazatai a kapcsolódó kerék fogárkának másik oldalán kapcsolódnak.

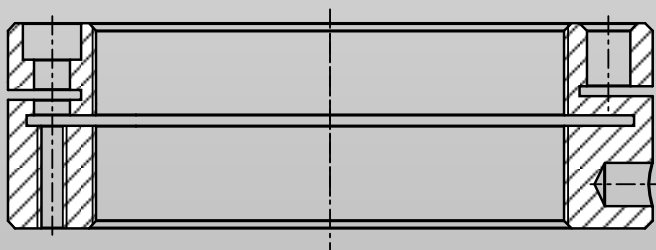
Megjegyzés: hasonló megoldást alkalmaznak (csak összefeszítéssel) a folytonos osztású körasztalok hézagmentes csigahajtásainál (21. ábra). Továbbá hézagmentes hajtásláncok hozhatók létre dupla hajtásláncokkal és azok előfeszítésével.

Feszítőgyűrűs (Ringspann) tengely-agy kötések (23. ábra) (nincs ütés!!!) Fémharmonika tengelykapcsolók



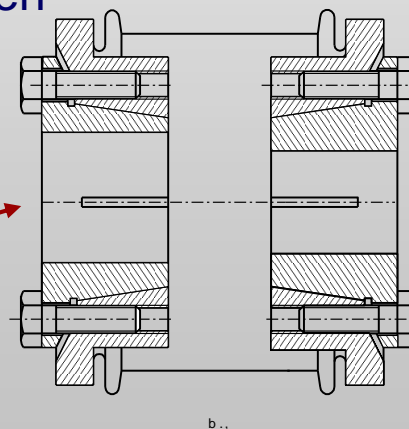
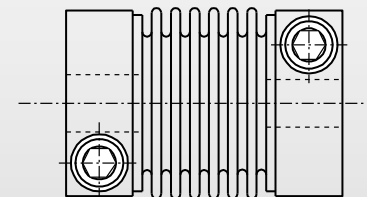
Az a., megoldásban a rögzítő csavarok a tengelyben a b.,-ben a fogaskerékben található!

Állítóanya (finommenetű)



Rugalmas deformációk!

Erőzáró kötések!



23. ábra: Mechatronikai szerkezetekben gyakran alkalmazott tengelykapcsolók, anyák



2.1 Mechanikai aktuátor láncok további FORGÓ-FORGÓ mozgásátalakítók: Szíjhajtások /Vonóelemes hajtások/

A gyakran alkalmazott szíjhajtások közül a laposszíz- ékszíz- Poly-V szíz- zsinór hajtások az erőzáró, míg a fogas-szíz hajtások az alakzáró vonóelemes hajtások körébe tartoznak. A hajtást húzóerővel terhelt vonóelem(ek) közvetíti(k). A szíjhajtások előnyei a csendes, nyugodt járás, kedvező dinamikai jellemzők, csillapítás, jó hatásfok ($\eta=0,95\div 0,98$), szükség esetén a túlterhelés elleni védelem (erőzáróknál). Hátrányai a nagy előfeszítő erőkből, és a szíz rugalmasságából adódnak.

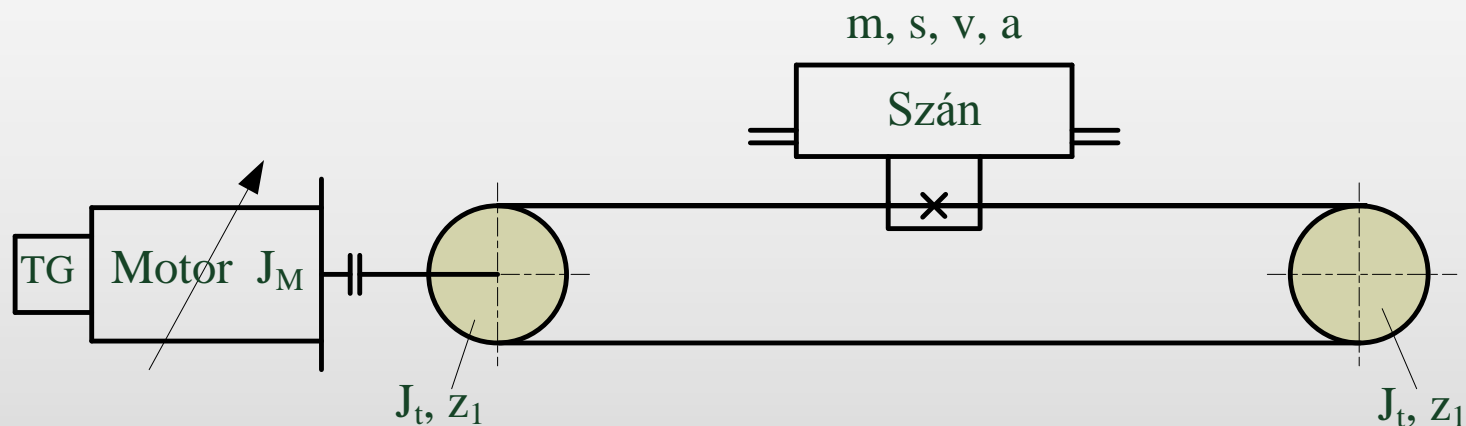
1.2.1.1 Fogas-szíz hajtások /Vonóelemes hajtások/

A fogas-szíz hajtás alakzáró vonóelemes hajtás, amely egyesíti a laposszíz-hajtás és a lánchajtás előnyeit. Az alakzáró mellett erőzáró kapcsolódás is kialakul.

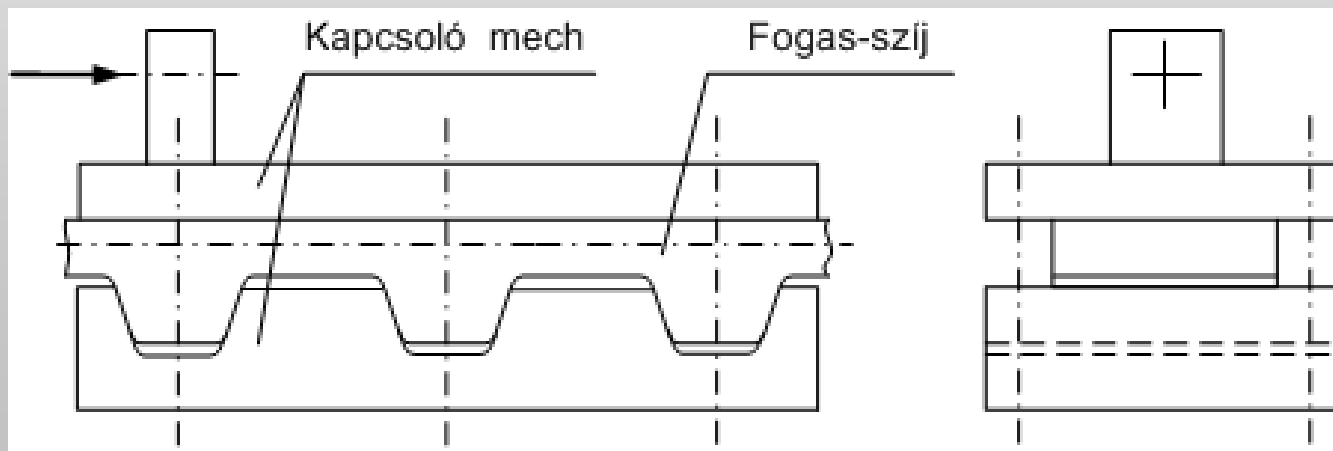
Mechatronikai berendezésekben gyakran alkalmazott elempár!!

Ismert alkalmazásuk a gépjárművek vezérmű tengely hajtásainál található.

Példák fogas-szíz hajtás alkalmazására (24. ábrák)

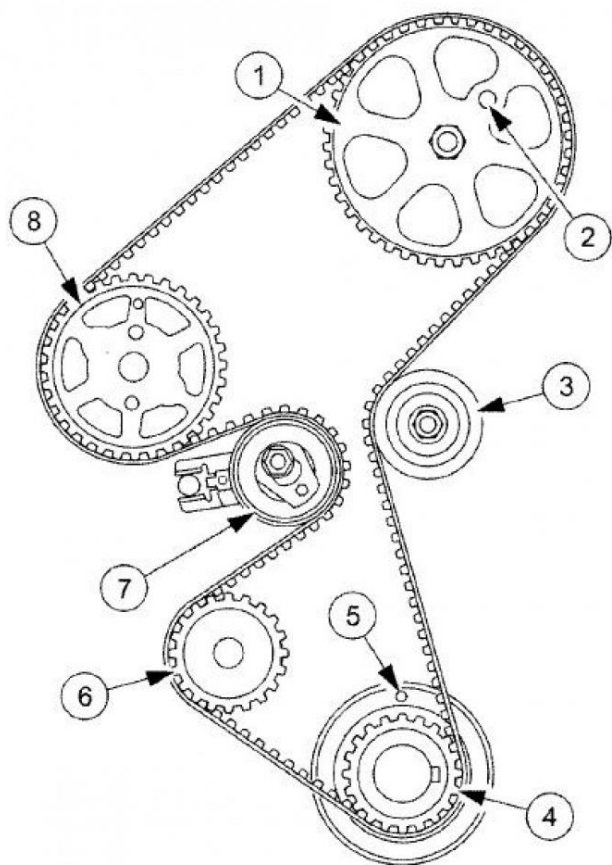


24.a ábra: Motor/fogas-szíz/szán közvetlen hajtás kinematikai lánc



24.b ábra: Az ajtónak a fogas-szízhez való csatlakozási megoldása

Példák fogas-szíz hajtás alkalmazására (24. ábrák)



Jelölések:

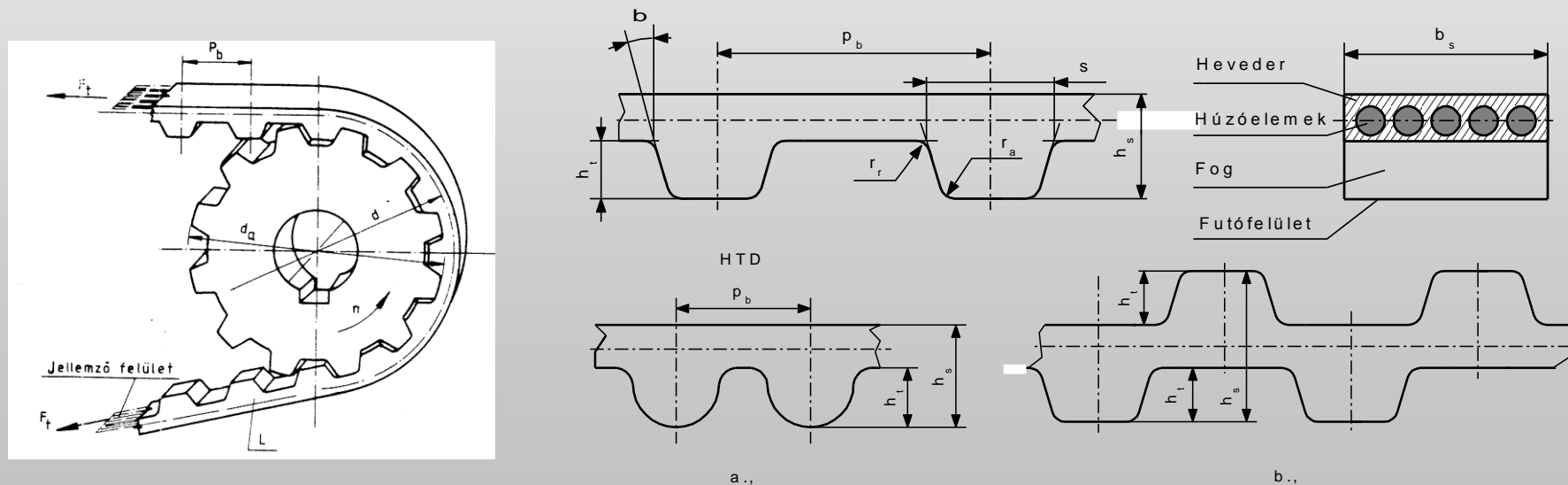
- 1 Vezérműtengely fogas-szíz kereke,
- 2 Furat a vezérműtengely beállítócsap számára,
- 3 Vezetőgörgő,
- 4 Forgattyústengely - fogas-szíz - fogaskerék,
- 5 Furat a forgattyús-tengely-beállítócsap számára,
- 6 Hűtőfolyadék-szivattyú fogas-szíz fogaskereke,
- 7 Feszítőgörgő,
- 8 Nagynyomású szivattyú fogas-szíz fogaskereke.

24.c ábra: Gépjármű fogas-szíz hajtása

Irodalom: autotechnika.hu/cikkek/2988,vezerlesbeallitas-1-4-l-tdci-.html

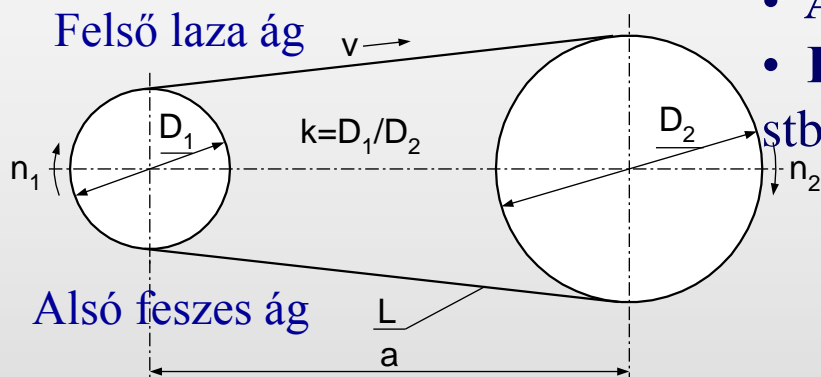
Fogas-szíz profilok

A fogas-szíjak kezdetben **trapéz alakú** fogakkal rendelkeztek. A magyar szabvány a trapézprofilú, zollos osztású fogasszíz-hajtásokat foglalja magába (MSZ-05 24.4901/1, 2, 3, 4-82). A szabványban a méretezés, kiválasztás menete is megtalálható. Egyre nagyobb átvihető teljesítményt értek el és nagyobb sebességeknél a légellenállásból adódó zaj is csökkent. Igen beváltak ilyen szempontból a **HTD**-High Torque Drive fogasszíz hajtások, $v_{\max} \approx 60$ m/s.



24.f ábra: Fogas-szíz profilok (trapéz, köríves, kétoldali)

Szíjhajtások

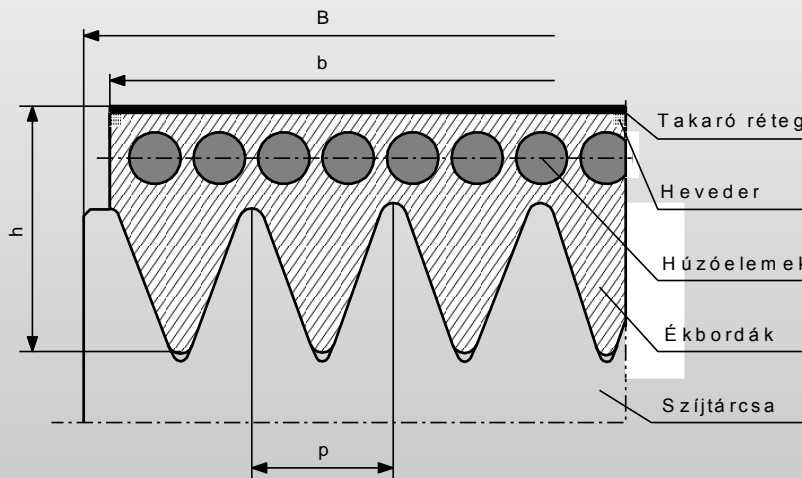


25.a ábra: Erő- és alakzáró hajtás modellje

Megjegyzés: azonos átmérőjű tárcsák vízszintes ága(i) lineáris mozgásra használható (pl. síkköszörűgép asztala, automata ajtók két szárnya a két ághoz kötötten).

Szíjhajtások: erőzáró és alakzáró

- **Alakzáró:** fogas-szíz, lánc
 - **Erőzáró:** ékszíz, Poly-V szíz, lapos-szíz, stb.
- Poly-V szíjhajtás másnéven ékbordás ékszíz hajtás (DIN 7867).**



25.b ábra: Poly-V szíz keresztmetszete
Pl. mechatronikai berendezések teljesítményhajtásában alkalmazzák. A sajátfrekvencia elhangolása (felfelé) céljából a teljesítményt több keskenyebb szíjagon viszik át.

Lánchajtások

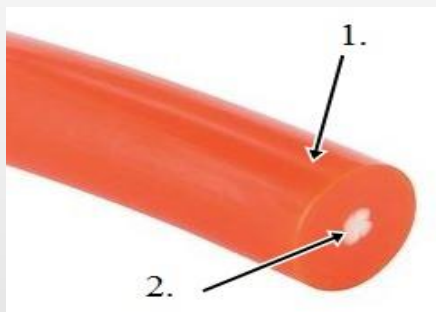


25.c ábra: Görgős vezérmű lánc – Ford Focus, <https://www.google.hu>

Zsinórhajtások (Kötélhajtások)

Az előzőektől eltérő súrlódó hajtások kör keresztmetszetű vonóelemes hajtások. Példák hozhatók akár a finommechanika, hajózástechnika, stb. területekről. Nevezik (tévesen) gömbszíjas hajtásoknak is.

Szálerősítésű, kör-keresztmetű szíj (5M)



1. Extrudált poliuretán anyagból
2. Szálerősítéssel

$$F_{t1} \leq F_{t2} \cdot e^{\mu \alpha}$$

Hajó kikötés kenderkötéllal



F_{t1} Alsó feszes ágon
ébredő erő

F_{t2} Felső laza ágon
ébredő erő

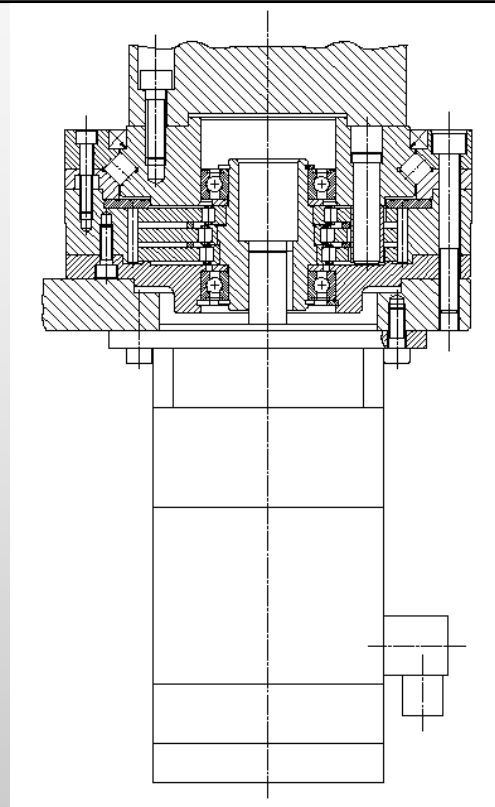
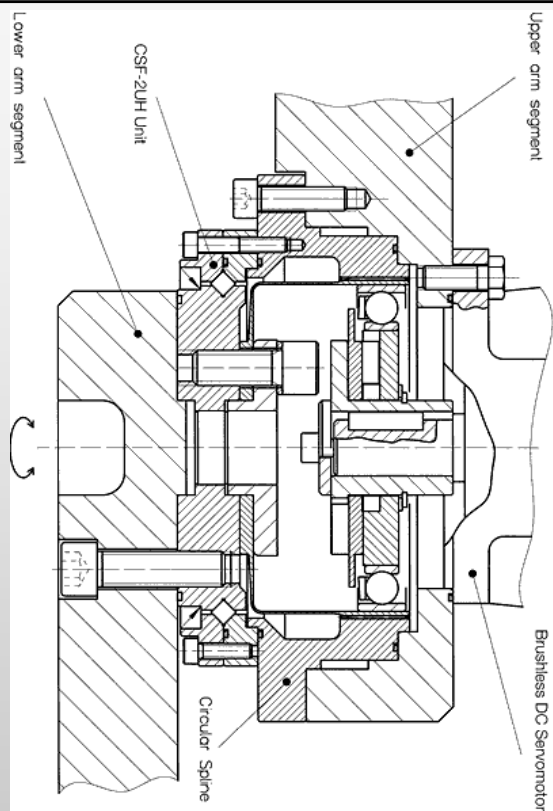


Nagy lassítású hajtóművek (excenteres hajtóművek)

A csigahajtások mellett nagy lassítást és nyomatékerősítést valósítanak meg a különböző spec. fogaskerekes hajtóművek és bolygóművek. A SCARA típusú robotok csuklóinak mozgatására szolgáló hullámhajtóműves Harmonic Drive és a Ciklois bolygó hajtóműves pl. CYCLODRIVE (Sumitomo), valamint közvetlen motorhajtású megoldásokat mutatnak a **26. ábrák**.

Az akkumulátoros csavarozógépek kimenő tengelyét pl. a motor kettő, vagy három, sorba kapcsolt **k-b** típusú fogaskerekes bolygóművön keresztül hajtja meg (pl. PSR 200 -Bosch).

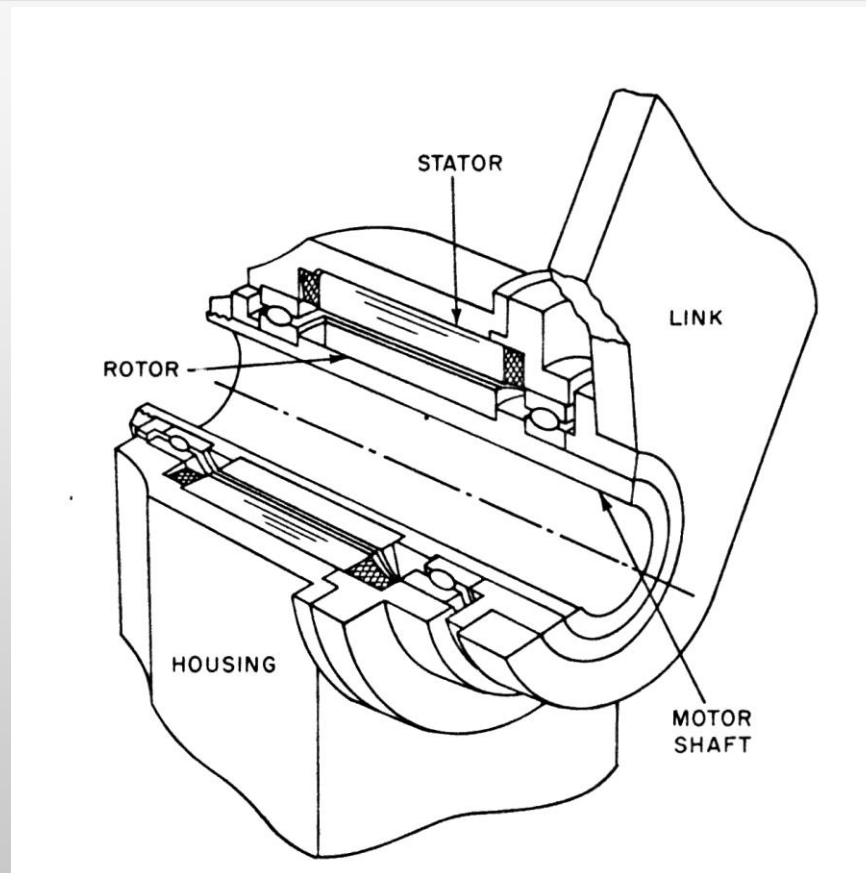
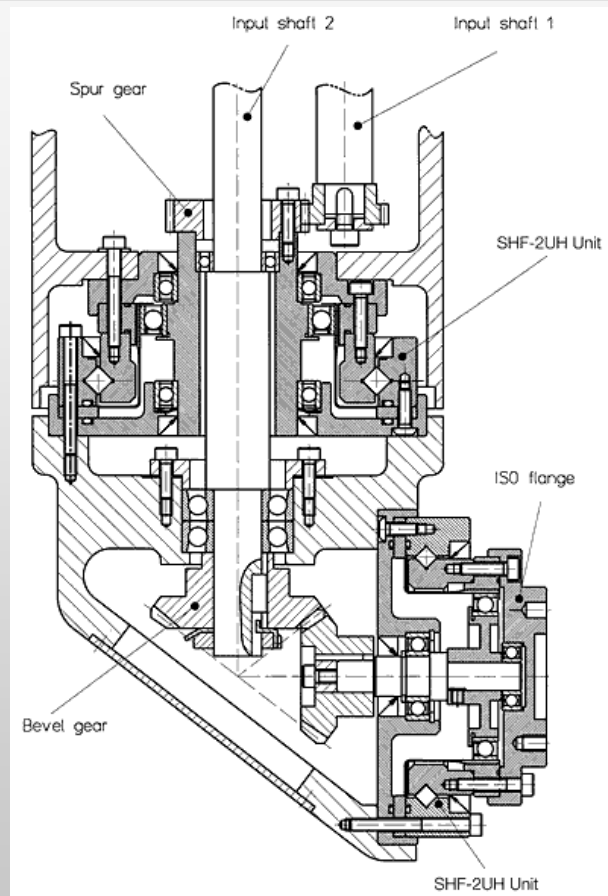
A bolygó hajtóművekről, köztük a ciklois bolygó-hajtóműről későbbiekben részletesen is lesz szó.



26.a ábra: Robotcsuklók mozgatója

Balra: Fazék alakú, Hullámhajtóművön keresztüli, lengő karos robotkar hajtás
(Harmonic Drive)

Jobbra: Háromtárcsás ciklois hajtóművön keresztüli egytengelyű hajtás.
A csuklók rövid és merev csapágyazása kereszt-hengergörgős megoldású
(CYCLODRIVE - Sumitomo)



26.b ábra: Robotcsuklók mozgatója

Balra: A két robotkar meghajtása hullámhajtóművel (Harmonic Drive)

Jobbra: Közvetlen motorhajtású csukló



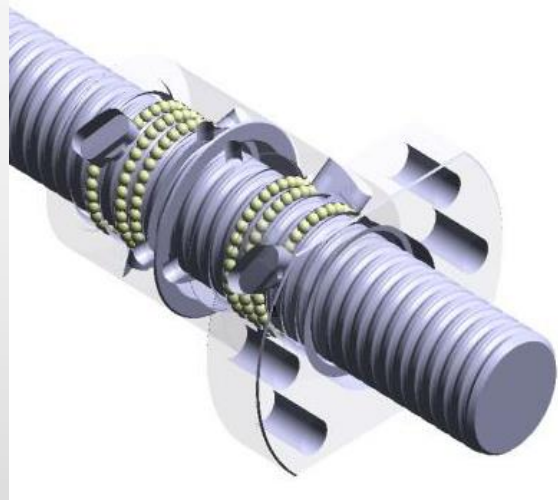
2.2 FORGÓ-HALADÓ mozgásátalakítók

Orsó-anya: már az **ókorban** is alkalmazott elempár, amely ma sikló és gördülő megoldásban is létezik. A hézagmentes és előfeszített jó átviteli tényezőjű golyósorsó-anya párt ma széles körben alkalmazzák precíziós hajtásokban, hosszabb löketeknél utazó hajtásként, amikor az anya hajtott és az orsó áll (27.a, 28. ábrák).

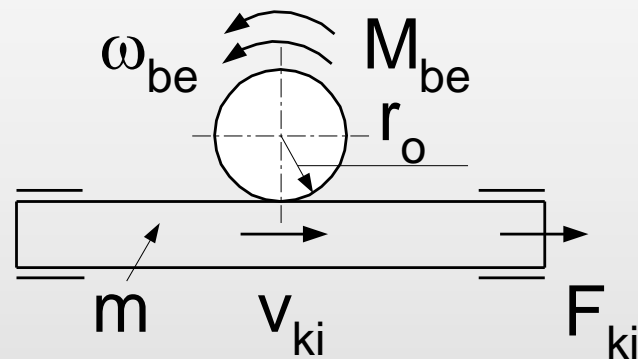
Fogaskerék-fogasléc: széles körben alkalmazott, hosszabb löketeknél utazó hajtásként, amikor a fogasléc a tartó elemen helyezkedik el. Igényesebb megoldásban hézagmentesített fogaskerék-fogasléc hajtású (27.b ábra)

Csiga-csigaléc: nagy elmozdulásoknál precíziós utazó hajtásként, gyakran hidrosztatikus kivitelben (27.c ábra).

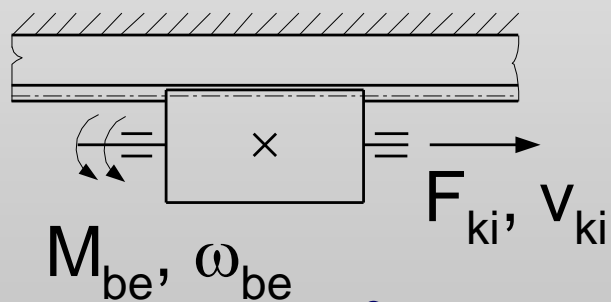
Fogas-szíj hajtás, zsinórhajtás: olcsó, széles körben alkalmazott, megbízható hajtás pl. plotterek, nyomtatók, fénymásolók, gépszánok, **ajtószárnyak** mozgására. A mozgatott egységet a fogas-szíj ágához kapcsolják (27.d).



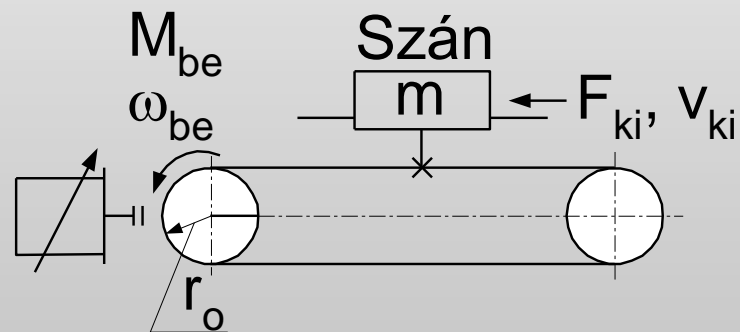
a.,



b.,



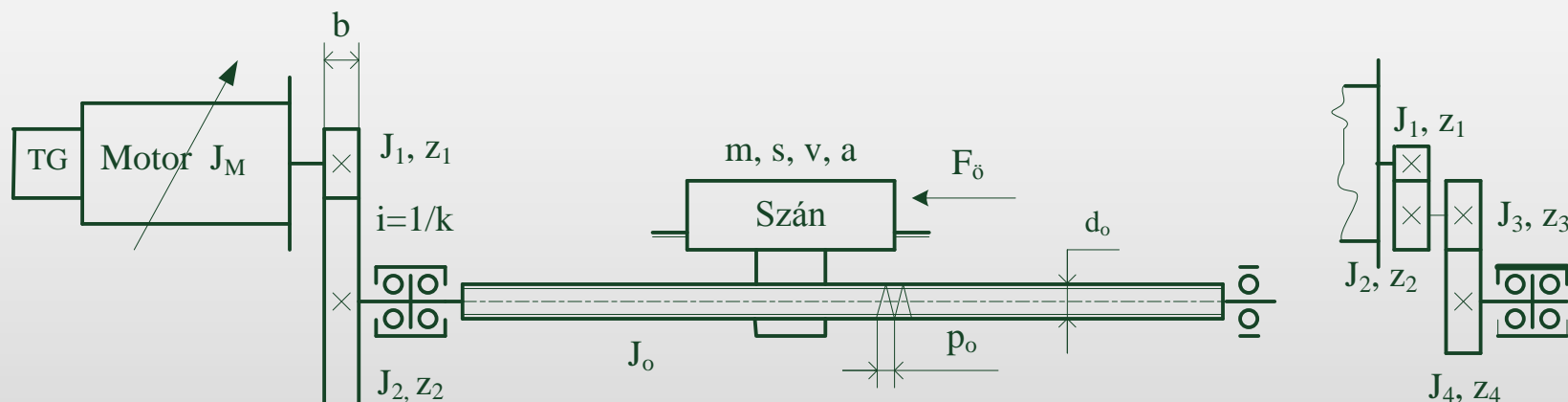
c.,



d.,

27. ábra: Forgó-haladó mozgás-átalakító mechanizmusok példái

Közvetett orsó-anya hajtású „Forgó-Haladó” mozgásátalakító



28.a ábra: Közvetett, motor/fogaskerékpár/golyósorsó-anya, hajtás

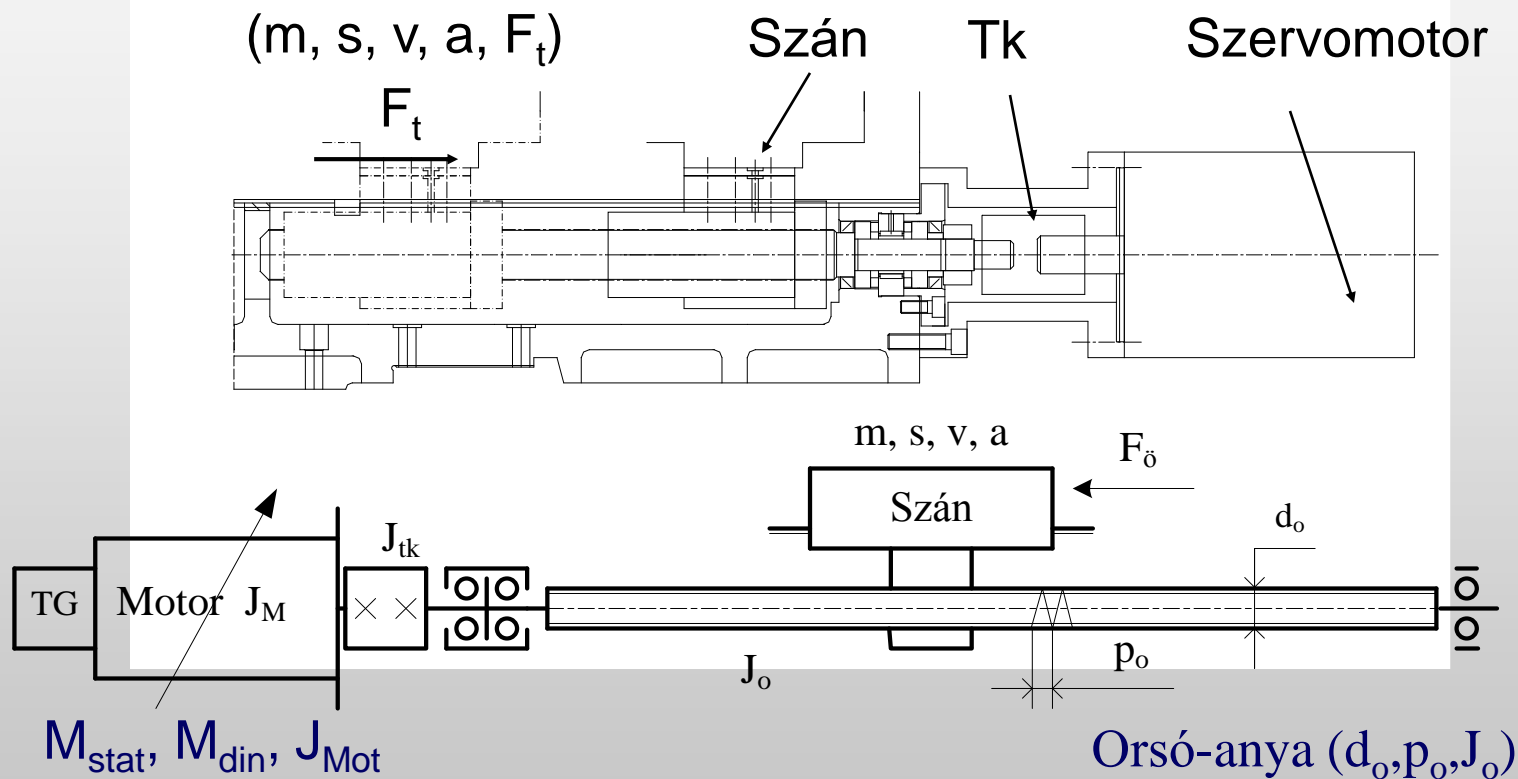
A haladó tömeg redukálása a golyósorsó tengelyére az energiaegyenlet felhasználásával, a $v=p_o/T$ és $\omega=2\cdot\pi/T$ összefüggések behelyettesítésével:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}J_m\omega_o^2 \quad J_m = m \frac{v^2}{\omega_o^2} \rightarrow J_m = m \frac{\left(\frac{p_o}{T}\right)^2}{\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2} = m \left(\frac{p_o}{2\pi}\right)^2 = mA_o^2$$

ahol az A_o - az un. átviteli tényező.

Az A_o értékéből megállapítható a menetes orsó-anya hajtás kedvező tulajdonsága!

Közvetlen orsó-anya hajtású „Forgó-Haladó” mozgásátalakító



A rendszer redukált tehetetlenségi nyomatéka: $J_{M,red} = J_M + J_{tk} + J_o + m \left(\frac{p_o}{2\pi} \right)^2$

28.b ábra: Szán mozgás közvetlen motor/tk./golyósorsó-anya hajtással



Golyósorsó-anyá hajtások tervezése, kiválasztása 1.

A szerkezet előnyei

- hézagtalanítható, és különböző mértékben előfeszíthető
- előfeszített állapotban nagy a tengelyirányú merevsége
- az orsó és az anya gördülő felületein fellépő súrlódás kicsi, ami gyakorlatilag független a fordulatszámától, és jó hatásfokú ($\eta=0,85-0,95$)
- nem lép fel az akadósúszás (stick-slip).

A golyósorsók teherbírásra és élettartamra való kiválasztását szabványok (standardok) tartalmazzák, pl. DIN 69051.

Teherbírás alapján való kiválasztás (lásd a Gépelemek tanulmányokat)

Az orsót statikus (C_0) és dinamikus (C) teherbírásra kell ellenőrizni!!

1. C_0 statikus teherbírás alatt azt, az orsó tengelyvonalában, axiálisan ható igénybevételt értik, amely a golyók és a golyópályák (gördülőtestek és pályák) közötti érintkezési helyen a golyóátmérő (D)x0,0001 mm mértékű képlékeny alakváltozást hoz létre. A technológiai terhelés ezt nem lépheti túl.



Golyósorsó-anya hajtások tervezése, kiválasztása 2.

2. *C* dinamikus teherbírást alatt azt az igénybevételt értik-, elegendően nagyszámú, és azonos orsó esetén-, amelynél a névleges élettartam az 1 millió körülfordulást (L), vagy annak megfelelő üzemórát (L_h) eléri az orsók legalább 90 %-a. A tönkremenetel határaként az anyagkifáradásnak pikkely (pitting) képződéssel járó határát tekintik *Ehhez az egyenértékű fordulatszámot és terhelést meg kell határozni!*

3. Ellenőrzés a kritikus fordulatszámra (n_{kr})

A kritikus fordulatszám (n_{kr}) az a határérték, amely felett az orsó forgása közben, annak kihajlására lehet számítani. Az üzemi fordulatszám: $n_{\ddot{u}} < 0,8 \cdot n_{kr}$.

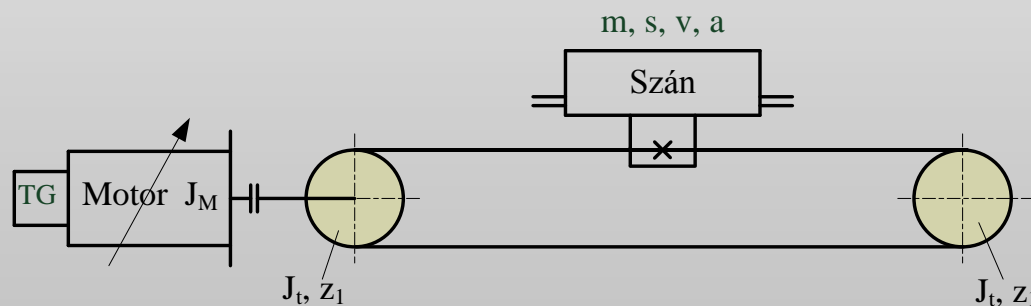
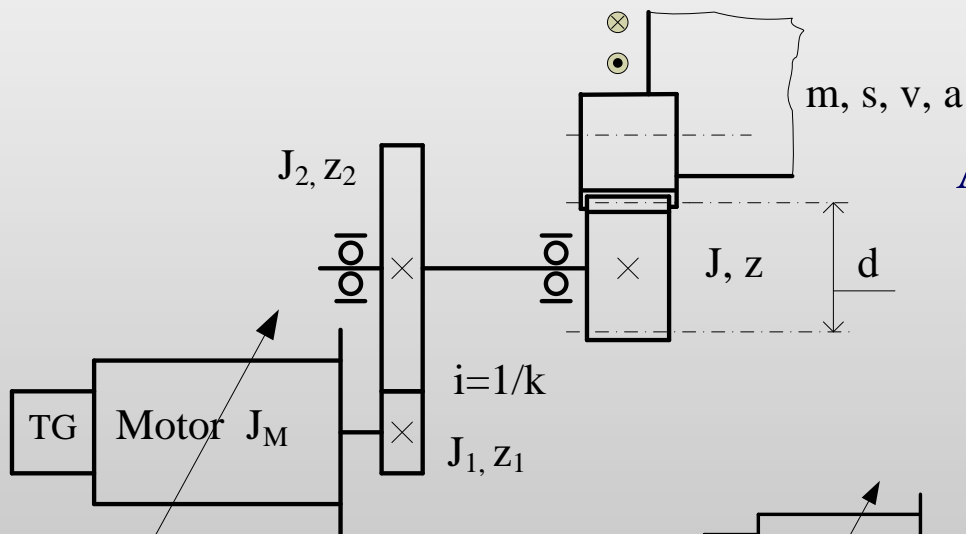
4. Ellenőrzés kihajlásra

A kihajlásra való ellenőrzéskor az orsó megengedett tengelyirányú (axiális) terhelését (F_{meg}) határozzák meg. Az anyáról az orsóra a kritikus terhelés az orsó axiális megtámasztásával átellenes anya véghelyzetben adódik át. Az axiális terhelhetőség függ az orsó átmérőtől (d_0), hosszától (l_0) és az orsó csapágyazás módjától: egyik végén szabad (IV.), két végén különböző (I.- III.)

Forgó-haladó mozgásátalakítás fogaskerék-fogasléc hajtással és
Forgó-haladó mozgásátalakítás fogas-szíz hajtással (29. és 30. ábrák)

29. ábra: Motor/Fogaskerékpár/
Fogaskerék-fogasléc pár/Szán
kinematikai lánc

Alkalmazás: Hosszú szánlöketeknél



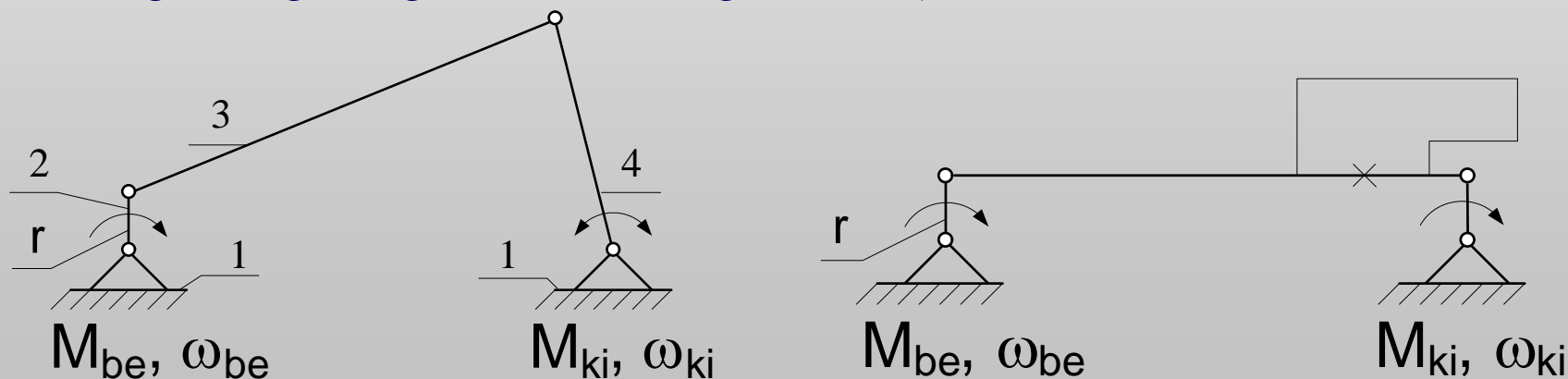
30. ábra: Motor/fogas-szíz/szán kinematikai lánc
Alkalmazás: Számos helyen

2.2 További forgó-haladó mozgásátalakítók

Forgattyús mechanizmusok 32. ábrák)

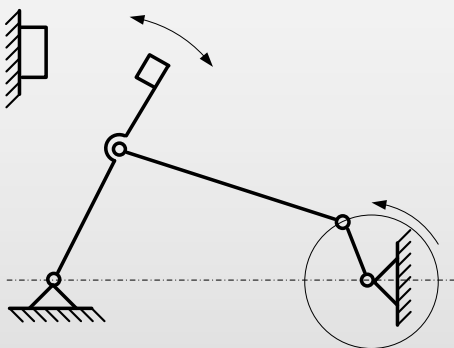
a., Négytagú-négycsuklós mechanizmus (32.a ábra). Számos mechanizmus is a négytagú-négycsuklós mechanizmusból származtatható.

A jobboldali ábra parallelogramma mechanizmust mutatja. Ekkor a (3) tag un. "transzlációs körmozgást" végez. Mindkét kar (2) lehet hajtott, vagy csak pl. a baloldali. Ekkor a túlhatározottság a jobboldalon pl. csuszós kapcsolattal küszöbölhető ki. A mechanizmus több célra is felhasználható (adagolás, sokszögeszterga lengő késtartó mozgatása stb.).



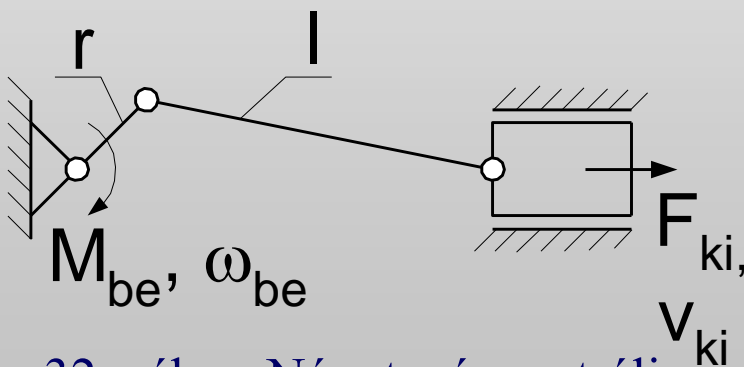
32.a ábra: Négytagú, négycsuklós mechanizmus

Forgattyús mechanizmusok



32.b ábra: *A forgattyús-lengőhimbás négycsuklós* (4 tagú) mechanizmus kialakítása pl. az ábra szerinti. A megoldás kalapácsoknál, vágóberendezéseknél, adagolóberendezéseknél stb. használható.

32.b ábra: Négytagú, négycsuklós mechanizmus

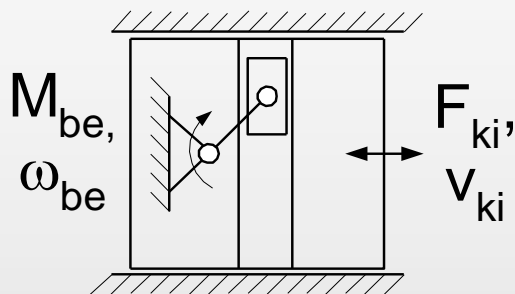


32.c ábra: Négytagú, centrális forgattyús mechanizmus

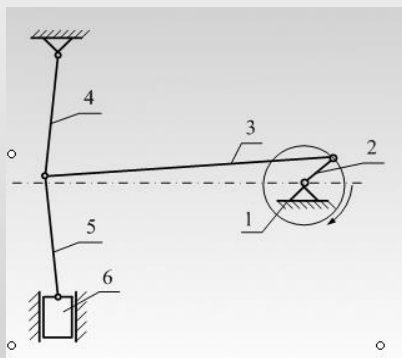
32.c ábra: *A forgattyús* mechanizmus a 32.a ábra szerinti 4. tagjának megváltoztatásával (helyére nyomószán/medve kerül) nyerhető. Legtöbbször centrális, mint az ábra mutatja, de lehet külpontos elrendezésű is. Alkalmazása pl. sajtológépeknél gyakori.

A megoldás inverze a gépjárműveknél ismert megoldás!! Ekkor a medve helyén a belsőégésű motor dugattyúja(i) található.

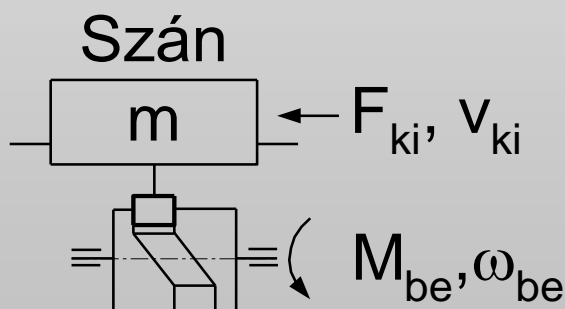
32. ábra: Forgó-haladó mozgás-átalakítók



32.d ábra: **Négytagú, forgattyús-kulisszás** mechanizmus pl. sajtoló, zömítő gépeknél az alakító medve mozgására használják.



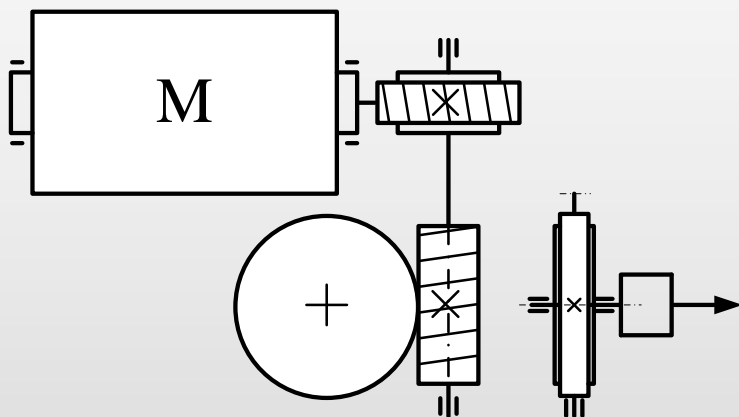
32.e ábra: **Forgattyús-könyökös** mechanizmus nagy végerők kifejtésére szolgál. A 6 tagú mechanizmus sebességviszonyai kedvezőek pl. térfogat alakító berendezéseknél. Alakításkor a medve (6) sebessége jelentősen csökkenthető ezzel a mechanizmussal.



32. f ábra: **Optimalizált gyorsulásgörbéjű vezérpályás, stb. mechanizmusok**

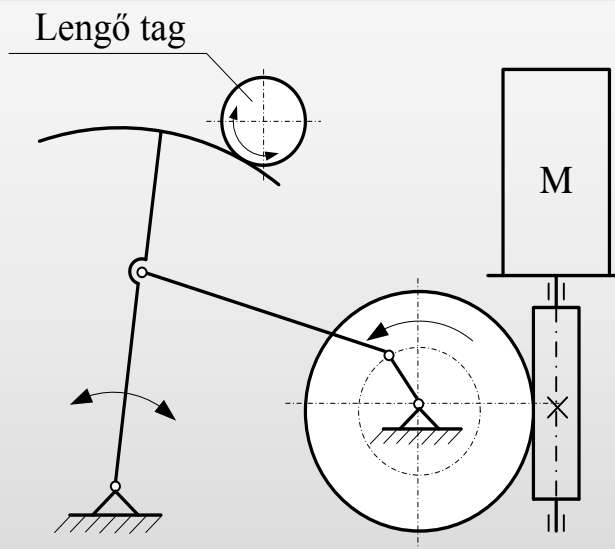
A kívánt speciális mozgás- kinematikai- és erőviszonyok létrehozására, mint pl. osztóasztalok, adagolók, töltősorok, vagy indító berendezések működtetésére!! Lásd a hirdetőn a szabadalmat!

32. ábra: Forgó-haladó mozgás-átalakítók



32.g. ábra: **Nagy lassítású hajtómű**

Alkalmazása például gépjárművekben a szellőző lapát diszkrét pozíciókba állításához a motor diszkrét elfordulásának vezérlésével (Potenciométeres).

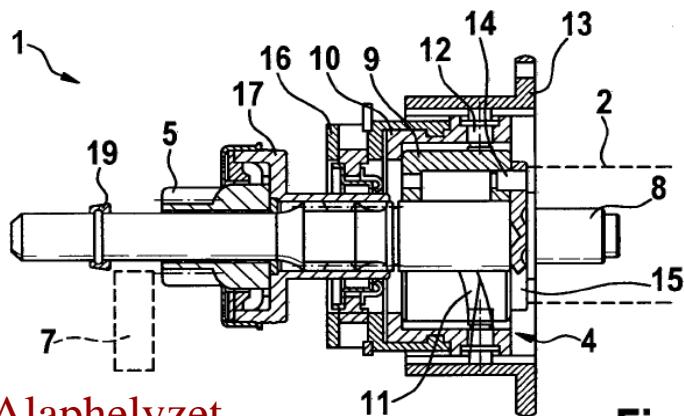


32.h ábra: **Forgattyús himbás mechanizmus**

A Motor-Fogaskerék-Forgattyús-himbás Mechanizmus-Fogasív-Fogaskerék hajtás lengő mozgások létrehozására (hátsó ablaktörlő)

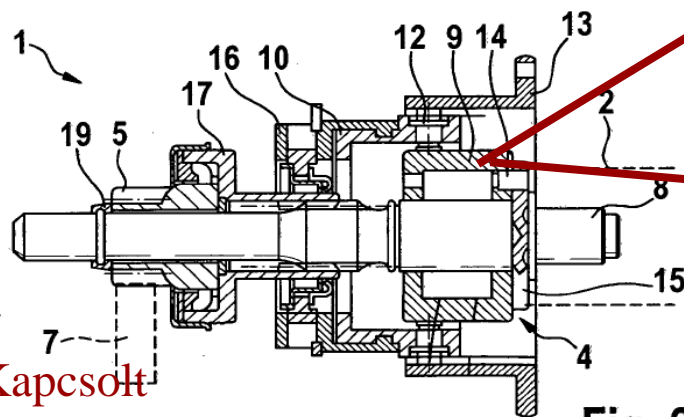
A hajtáslánc a 32.b ábra szerinti megoldás továbbfejlesztése a fogasív-fogaskerékekkel.

32. ábra: Forgó-haladó mozgás-átalakítók



Alaphelyzet

Fig. 2



Kapcsolt
helyzet

Fig. 3

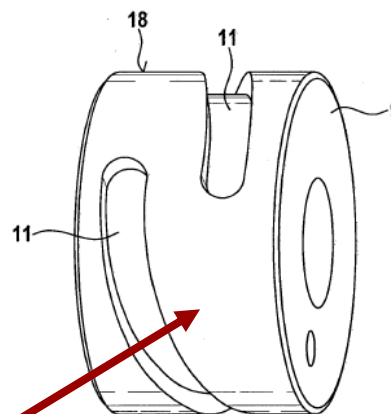


Fig. 4

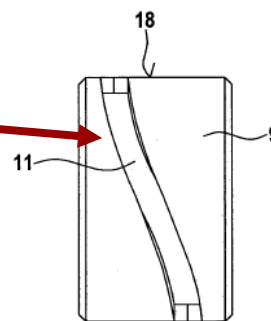


Fig. 5

Anmelder:

Robert Bosch GmbH,

Erfinder:

Jakab, E. - Nagy, L.

Lenart, J. – Fischer, T.

Cél: a kis fogaskerék nagy fogaskerékbe történő axiális kapcsolása vezérpályás Mechanizmussal a behúzó mágnes helyett!

33. ábra: Új indítómotor mechanizmus személygépjárművekhez a 32.f ábra szerinti Forgó-Haladó mechanizmus felhasználásával

Centrális forgattyús mechanizmus kinematikai viszonyai

A h nyomószán út a B csuklónak az A_{hp} -tól mért távolsága:

$$h = r + l - x = r(1 - \cos \alpha) + l(1 - \cos \beta) =$$

$$= r \left[(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta) \right]$$

ahol: $\frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = \lambda = r / l \quad \sin^2 \beta + \cos^2 \beta = 1$

A h nyomószán út az α szögelfordulás függvényében:

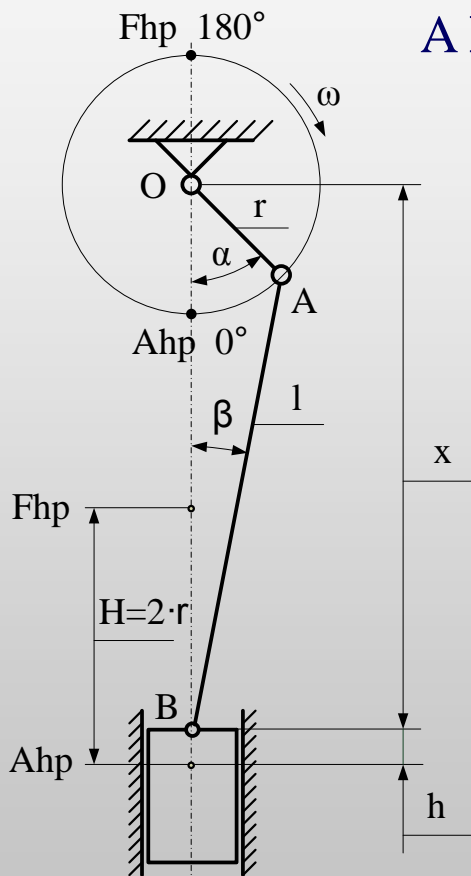
$$\cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha} \quad \dots \quad \sin \beta = \lambda \sin \alpha /$$

Sorfejtéssel és a magasabb rendű tagok elhanyagolásával és

$$\sin^2 \alpha \approx \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

helyettesítéssel:

$$h = r(1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha) = r \left[1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\alpha) \right] \dots$$



32.b ábra szerinti centrális forgattyús mechanizmus kinematikai viszonyai



A nyomószán v sebességét az $\omega = \text{állandó}$ feltételezés mellett határozzuk meg. Ekkor figyelembe kell venni, hogy az α forgattyúszöget az A_{hp} -tól mérjük, azaz a forgásiránnyal szemben értelmezzük.

Kezdeti feltételek: $t=0$, $\alpha = \alpha_0$ és ezért $\dot{\alpha} = \omega$ és $\dot{\omega} = -d\alpha/dt$.

A nyomószán sebessége:
$$v = - \frac{dh}{dt} = - \left(\frac{dh}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} \right) = r \omega \left(\sin \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha \right)$$

A nyomószán gyorsulása:
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} = -r \omega^2 \left(\cos \alpha + \lambda \cos 2\alpha \right)$$

Kis λ értékeknél jó közelítéssel a következő összefüggések használhatók:

$$h \approx r (1 - \cos \alpha)$$

$$v \approx r \omega \sin \alpha$$

$$a \approx -r \omega^2 \cos \alpha$$

Centrális forgattyús mechanizmus erő- és nyomatékviszonyai

$M, T = \text{állandó}$ feltételezésével

$$F_t / F_r = \cos \beta \rightarrow F_r = F_t / \cos \beta, \quad (1)$$

az F_r -el az S és T eredője ($-F_r$) tart egyensúlyt.

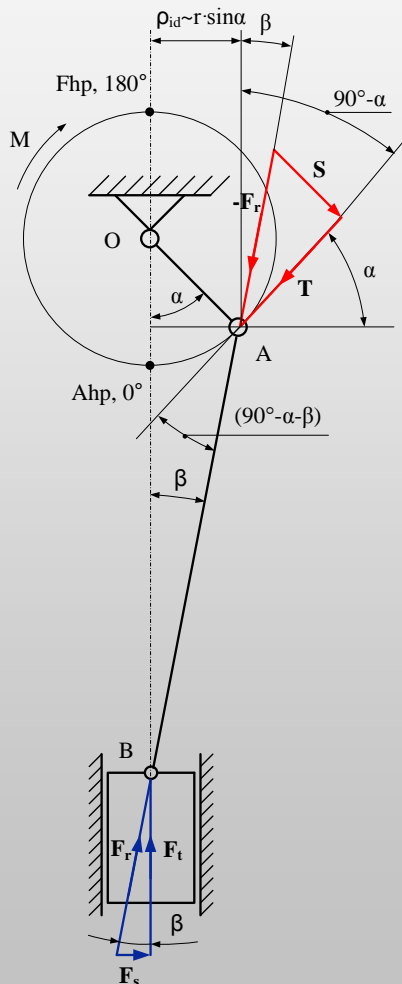
$$T / F_r = \cos[90^\circ - (\alpha + \beta)] = \sin(\alpha + \beta) \rightarrow T = F_r \cdot \sin(\alpha + \beta). \quad (2)$$

Behelyettesítve az (1) összefüggést a (2)-be, majd figyelembe véve, hogy λ és β kis értékű, kaphatjuk az alábbi, (3) szerinti összefüggéseket:

$$T = F_t \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}, \quad (3)$$

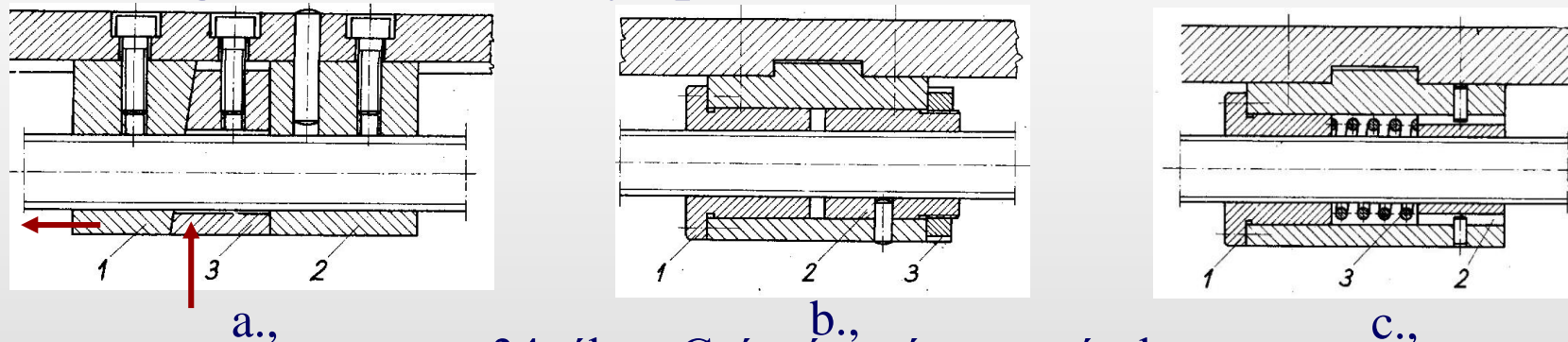
$$T \approx F_t \sin \alpha$$

$$M = T \cdot r = F_t \cdot r \cdot \sin \alpha = F_t \rho_{id}$$



32.b ábra szerinti forgattyús mechanizmus erőviszonyai

Kishézagú csúszó orsó-anya párok



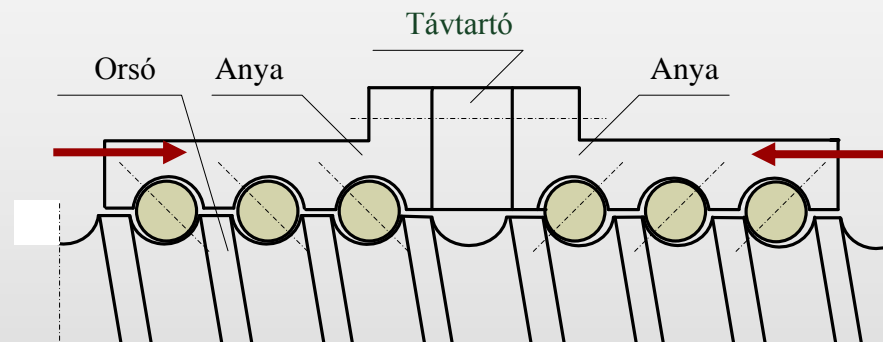
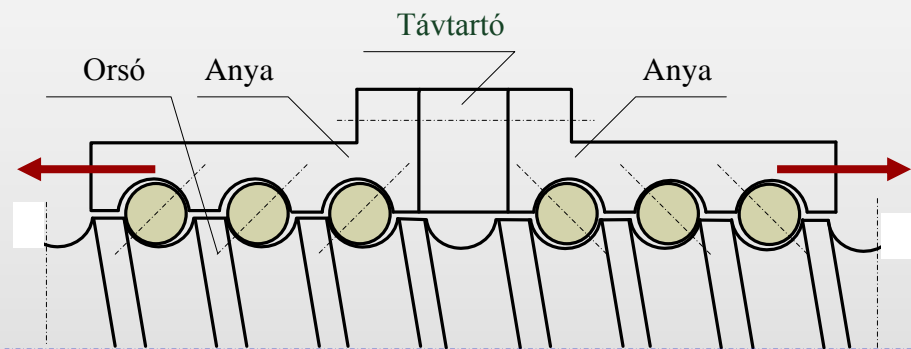
34. ábra: Csúszó orsó-anya párok

A **34.a** ábra közismert megoldást mutat. A rögzített anyarészhez **-2-** képest az **1** mozgatható anyarész, a rögzítés feloldása után, a **3** állítható ék segítségével elmozdítható balra, a kishézagú állapotig. Ezután az **1** anyarészt ismét rögzítik.

A **34.b** megoldásban a **2** anya, azaz az orsó-anya kishézagú állapota a **3** állító anya-hüvely segítségével állítható be. A jobboldali menetes hüvely elfordulás elleni biztosítása itt a **c.**, ábra szerint lenne helyes.

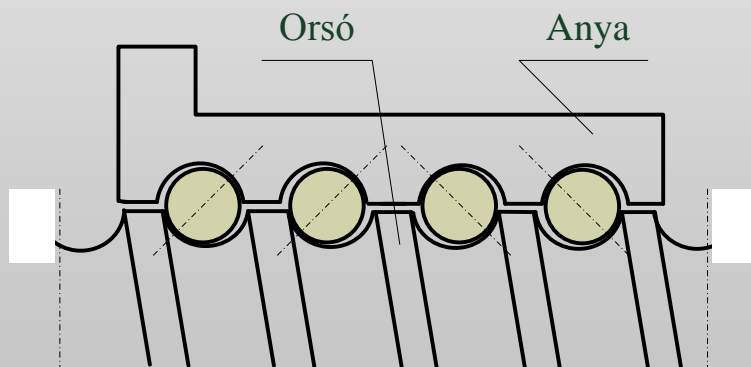
A **34.c** megoldásban a hézagmentes állapotot a **3** jelű rugó folyamatosan biztosítja, míg az **a.**, és **b.**, megoldásokban, a kopások miatt, az elempárokat egy idő után újra állítani kell.

Hézagmentes és előfeszített, vagy kishézagú golyósorsó-anya párok

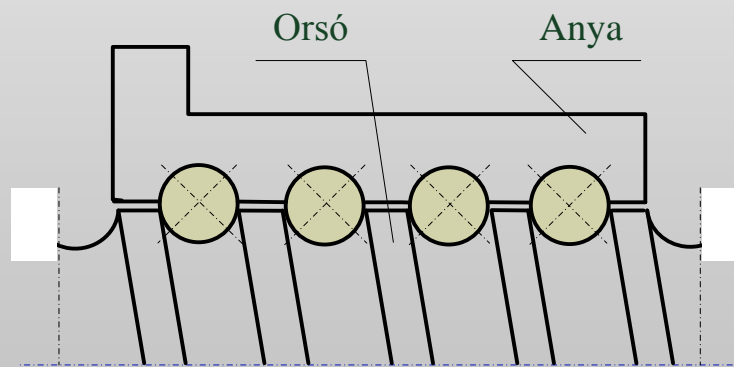


Kétanyás „O” elrendezés húzó feszítéssel

Kétanyás „X” elrendezés nyomó feszítéssel



Egyanyás, kétpont érintkezésű
orsó-anyá pár



Egyanyás, négy pont érintkezésű
orsó-anyá pár

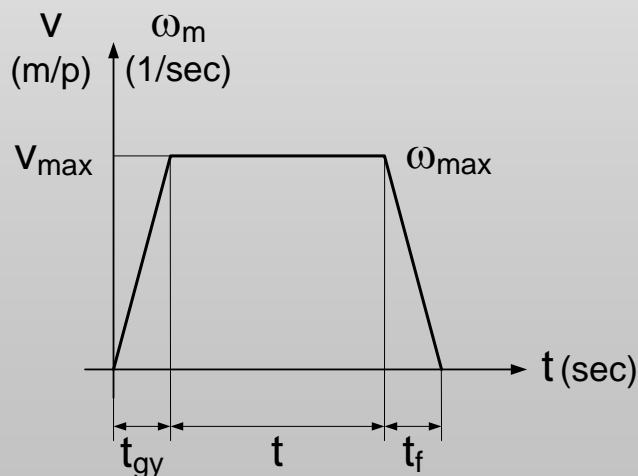
35. ábra: Golyósorsó-anyá párok

Motornyomaték számítása közvetlen golyósorsós hajtásnál (28.b ábra)

A szervomotort a szükséges működési fordulatszám tartomány ($n_{m,\min}$ - $n_{m,\max}$), és az $M_{m,\text{stat}}$ statikus terhelő nyomaték alapján választjuk ki, majd az $M_{m,\text{din}}$ dinamikus nyomatéokra ellenőrzést végzünk!

A sebességek menete: A 36. ábra a szán mozgási sebesség, vagy a motortengely szögsebesség változásának közel trapéz jellegét mutatja. A gyorsítás kezdetén és a fékezés végén a sebességek értéke zérus.

Az orsó szögsebessége és szán gyorsulása a 36. ábra szerint meghatározható:



$$t_{gy} = t_f = 50 \div 400 \text{ ms}$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_{m,\max} - \omega_{m,0}}{t_{gy}} = \frac{\omega_{m,\max}}{t_{gy}}$$

$$a = \frac{V_{\max} - V_0}{t_{gy}} = \frac{V_{\max}}{t_{gy}}$$

36. ábra: Sebesség- és szögsebesség viszonyok

A motor dinamikus nyomatéka: $M_{m,din} = J_{\ddot{o}} \varepsilon / \eta_m$

A képletben a $J_{\ddot{o}}$ a motor tengelyére redukált tehetetlenségi nyomaték, ε szöggyorsulás, η_m a kinematikai lánc mechanikai hatásfoka. A haladó m tömeg golyósorsó tengelyére redukált tehetetlenségi nyomatéka $J_{m,o}$, ahol a

- T a golyósorsó egy körülfordulásának ideje,
- A_o az orsó átviteli tényezője, továbbá a J_o az orsó tehetetlenségi nyomatéka,
- J_m a motor tehetetlenségi nyomatéka.

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} J_{m,o} \omega_0^2 = \frac{1}{2} J_{m,o} \omega_m^2 \rightarrow J_{m,o} = m \frac{v^2}{\omega_0^2}$$

$$v = \frac{p_o}{T}, \quad \omega_m = \frac{2\pi}{T}, \quad J_{m,o} = m \left(\frac{p_o}{2\pi} \right)^2 = m A_o^2$$

$$J_{\ddot{o}} = J_{m,o} + J_o + J_m$$

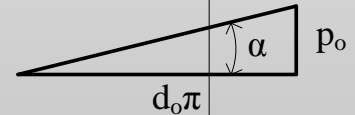
A motor és orsó közé épített k hajtóviszonynál az orsóra redukált tehetetlenségi nyomatékokat ($J_{o,red}$) a motor tengelyére k^2 -el redukáljuk:

$$(J_{o,mot} = J_{o,red} k^2 = (J_{m,o} + J_o) k^2).$$

A motor statikus nyomatéka: $M_{m,stat} = M_o / \eta_m$

Az M_o az orsó tengelyére redukált, a szánt terhelő F_t erőből adódó, nyomaték, η_m a kinematikai lánc mechanikai hatásfoka. A k hajtóviszonynál az orsóra számított statikus nyomatékot k -val redukáljuk a motor tengelyére ($M_{stat} = M_o k / \eta_m$). Az F_t szánerő redukálása az orsóra, ahol $\rho_g \approx 0$, α a menetemelkedés szöge, d_o az orsó közepes átmérője:

$$M_o = \frac{d_o}{2} F_t \operatorname{tg}(\alpha + \rho_g) \cong \frac{d_o}{2} F_t \operatorname{tg} \alpha = \frac{d_o}{2} F_t \frac{p_o}{d_o \pi} = F_t \frac{p_o}{2 \pi} = F_t A_o.$$



A tehetetlenségi nyomatékok redukálásának további példái

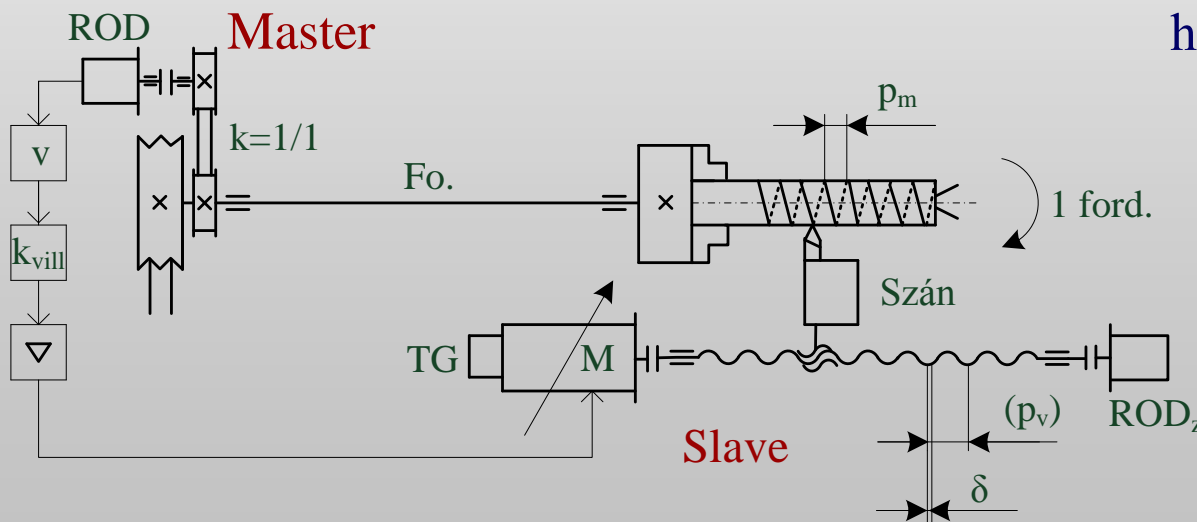
Fogas-szíjas, vagy fogaskerék-fogasléc hajtással mozgatott m tömegnél, ahol az r_o a fogas szíjtárca, vagy a fogaskerék osztókör sugara: $J_{m,o} = m r_o^2$

Menetvágás NC esztergagépen

Alábbiakban bemutatjuk a menetvágás kinematikai láncának egyszerűsített vázlatát NC esztergagépre is (37. ábra).

Kinematikai összefüggés: $1 \text{ ford} \cdot k \cdot v \cdot k_{vill} \delta = p_m$, v - az impulzusok száma,
 k_{vill} - a villamos hajtóviszony, δ - az elemi úthossz,
 $k=1/1$ - fogas-szíz hajtás hajtóviszonya

$$k_{vill} = \frac{p_m}{v \cdot \delta} = C_{vill} \cdot p_m$$



37. ábra: NC menetvágás kinematikai lánc



Az NC kinematikai lánc összevethető a hagyományos esztergagépek menetvágására jellemző egyszerűsített kinematikai láncsal (16.a ábra) azzal a különbséggel, hogy *itt hiányzik a főhajtóművet (főorsót) és a mellékajtóművet (a menetvágó kést mozgató előtoló szánt) összekötő mechanikus kinematikai lánc, helyette Elektronikus Kinematikai Lánc (EKL)* szolgál a két mozgás között előírt kinematikai kapcsolat megvalósítására, amelyet *Mester-Szolga (Master-Slave)* hajtásnak neveznek. A **z** irányú szán mozgatásához szükséges alapjelet a forgó impulzusadó (ROD) és jelfeldolgozó rendszer szolgáltatja. A ROD meghajtása a főorsóról történik **k=1/1** hajtóviszonyú, hézagmentes fogas-szín hajtáson keresztül. A különböző **p_m** menetemelkedések készítéséhez itt a **k_{vill}**, villamos hajtóviszonyt kell biztosítani ahhoz, hogy egy villamos impulzushoz egységnyi elmozdulás tartozzon, amit a helyzetszabályozó old meg. A menetvágás kinematikai egyenlete az előző oldalon látható.



Speciális vezérpályás mechanizmusok

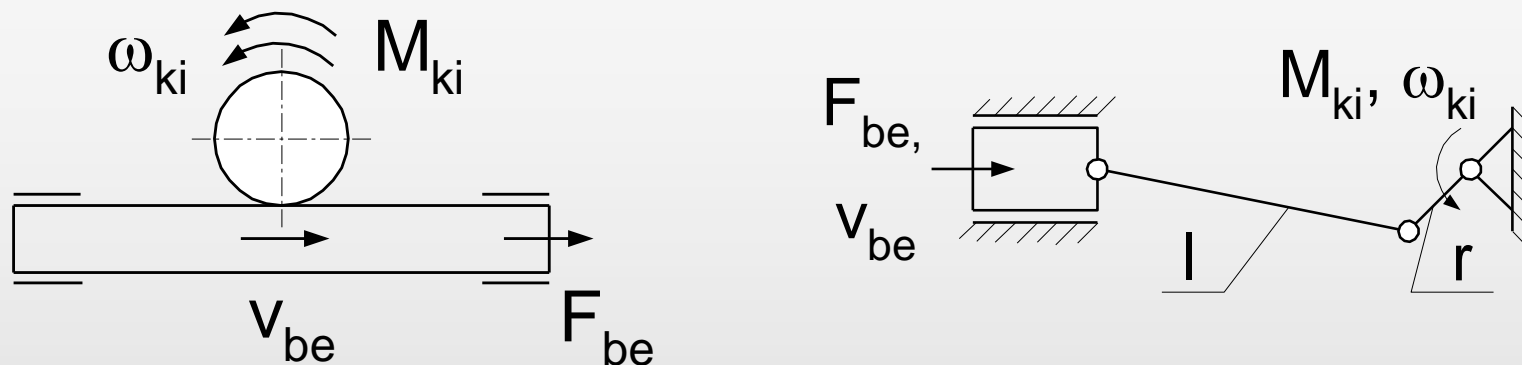
Folytonos és egyenletes forgómozgás mellett meghatározott mozgásfüggvényű alternáló mozgások létrehozására szolgálnak (32.f ábra). Mozgásfüggvények számításához gyakran az optimalizált gyorsulásgörbét használják fel (pl. szinoid+egyenes+szinoid).

2.3 HALADÓ-FORGÓ mozgásátalakítók

A 2.2 pont alatti szerkezetek fordítottjai, amennyiben nem önzáróak: pl. a fogasléc/fogaskerék (38.a ábra), fogas-szíz/szíjtárcsa, de lehet dugattyú - hajtórúd/forgattyús tengely hajtás is (lásd 38.a ábra).

2.4 HALADÓ-HALADÓ mozgásátalakítók

A fogasléc-fogaskerék-fogasléc, emelőkaros mechanizmusok a 38.b. ábra szerintiek lehetnek



38.a ábra: Haladó-forgó mozgásátalakítók



38.b ábra: Haladó-haladó mozgásátalakítók

3 FLUIDMECHANIKAI aktuátorok (Külön tárgyakban)

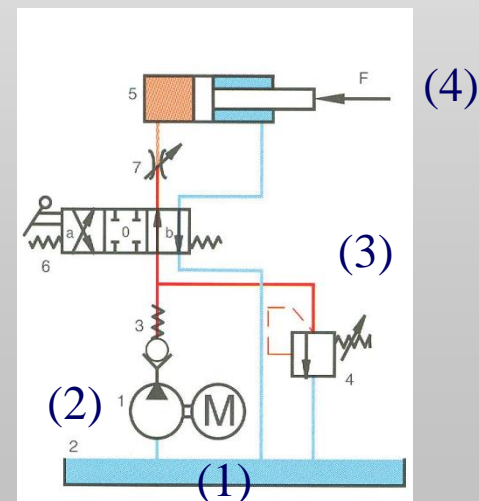
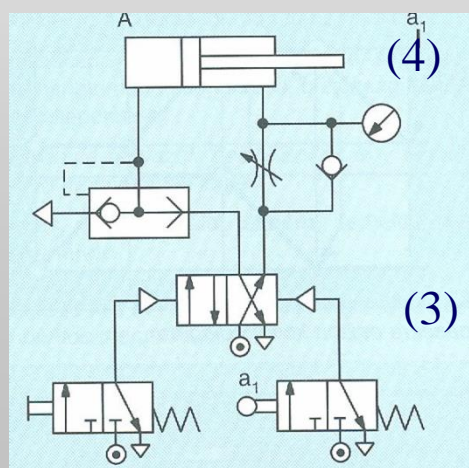
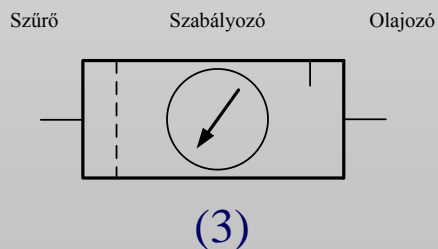
3.1 Pneumatikus rendszerek aktuátor lánc

Villamos motor (1)-Kompresszor (2)-Előkészítő és vezérlő elemek (3)
Pneumatikus aktuátor (4):

- Lineáris munkahenger-motor (csillapítás nélkül, csillapítással, stb),
- Forgó motor, Lengő motor, stb.

3.2 Hidraulikus rendszerek aktuátor lánc

Villamos motor (1)-Szivattyú (2)-Vezérlő elemek (3)-Hidraulikus aktuátor (4):
Lásd fenn!



3.1-hez: Pneumatikus kapcsolási példa

3.2-höz: Hidraulikus kapcsolási példa

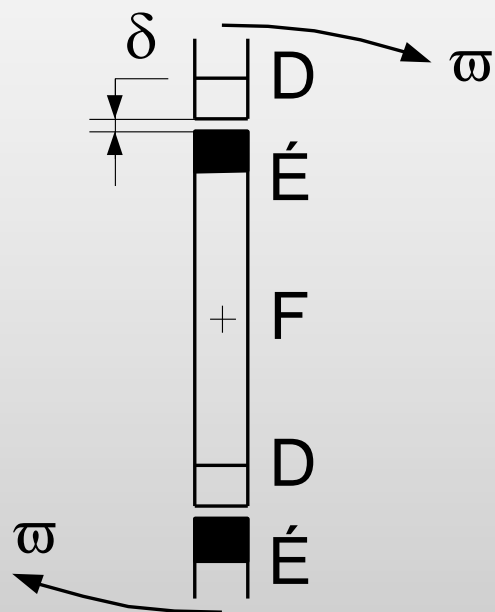


4. Villamos aktuátorok

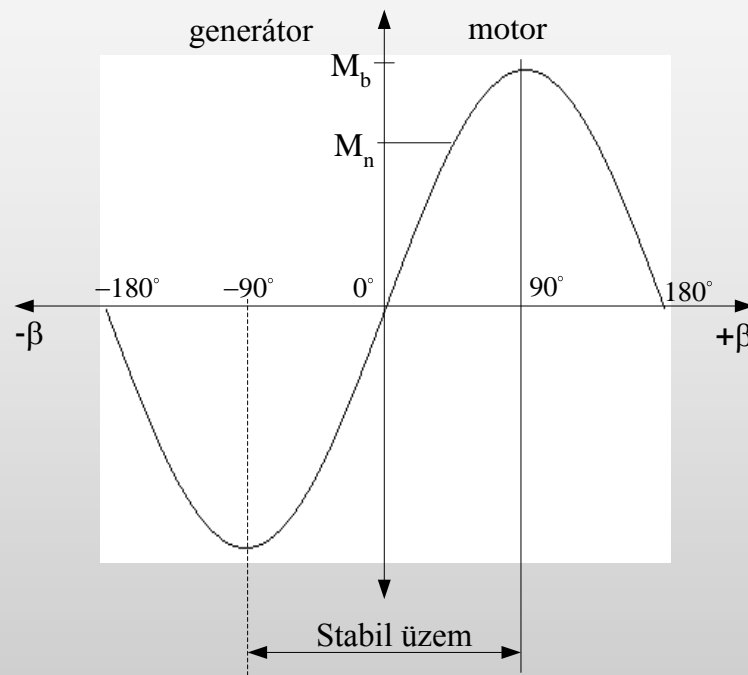
Csak a mozgást előidéző elektromos és mágneses aktuátorokat tárgyaljuk.

4.1 Villamos motorok- A kétmágnes elv

A villamos gépekben keletkező nyomaték, a mozgás létrehozása két mágnes egymásra hatásával szemléltethető. A **39.a ábra** egy közös forgástengellyel rendelkező belső és külső, hengergyűrű alakú, északi (É) és déli (D) pólusokkal rendelkező mágnes mutat. A mágnesek között δ légrés található. Nyugalmi állapotban a belső és külső mágnesek ellentétes mágnes pólusai szemben állnak, mivel az ellentétes pólusok vonzzák egymást. Gondolatban forgassuk el a külső mágneset. A belső mágnes az elfordítást követi. A külső, vagy a belső mágnes egyenletes forgatása a másik mágnes folytonos forgó mozgását eredményezi. A két oldalra ható elektromágneses nyomaték egyenlő, de ellentétes irányú. A szinkron gép stabil üzemét a **39.b ábra** $M_b(\beta)$ Jellemgörbéjén bejelöltük.



39.a ábra: Kétmágneses elv
(Hengeres szinkron gép elve)



39.b ábra: Szinkron gép jelleggörbéje
A mágneses tengelyek által bezárt β terhelési szög a két oldalon megjelenő azonos M nyomaték értékekre lesz jellemző



A nyomaték nagyságát a két mágnes mágneses tengelyei által bezárt un. β **terhelési szög** jellemzi. Stabil állapot és zérus nyomaték $\beta=0^\circ$ -nál, maximális nyomaték $\beta=\pm 90^\circ$ -nál, labilis helyzet és zérus nyomaték $\beta=180^\circ$ -nál adódik. A *villamos gépek* állandósult üzemének (nyomatékának) feltétele két *együttforgó* mágneses mező megléte. A motor csak addig működőképes, a két oldal csak addig fejt ki nyomatékot egymásra, amíg az együttjárás megvalósul, amit a pólusok egymáshoz viszonyított helyzete biztosít.

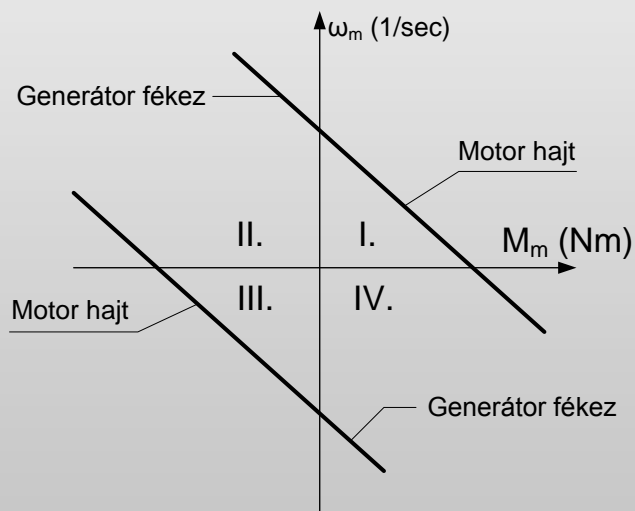
Az egyes forgó motortípusok az álló és forgórészek pólus rendszereinek kialakításában és a mágnesek keletkezésének módjában különböznek egymástól.

A Φ fluxus, az I áram előállítási módja, és a β **terhelési szög** alakulása attól függ, hogyan keletkezik az egyik, illetve a másik mágnes.

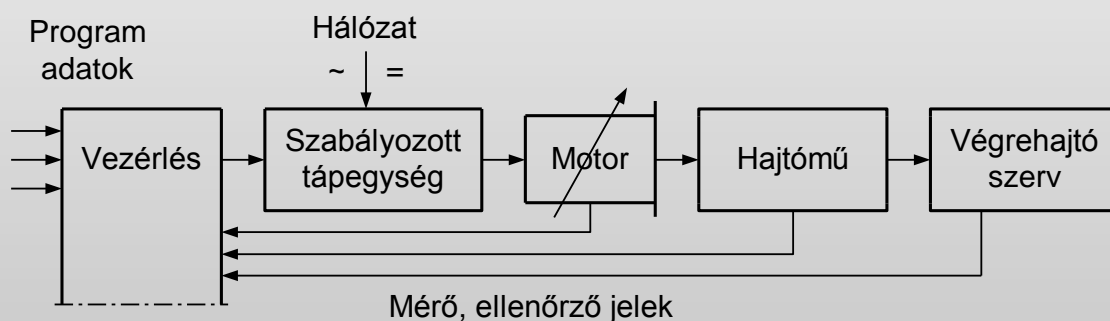
Motortípusok

Forgó és lineáris: egyenáramú, szinkron, aszinkron, léptetőmotor.

A motorok fordulatszáma, sebessége fokozatmentesen állítható és legtöbbször 4/4-es hajtással rendelkeznek (40. ábra). A 4/4-es hajtású motor funkció összevonást valósít meg azzal, hogy mindkét irányban létrehozható forgás és fékezés. Természetesen lehet 2/4-es és 1/4-es táplálás is. Egy szabályozott elektromechanikus hajtás funkcióvázlatát a 41. ábra mutatja.



40. ábra: Villamos gépek hajtási negyedei



41. ábra: Szabályozott elektromechanikus hajtás funkcióvázlata



Egyenáramú otor fordulatszám primer és szekunder szabályozása

I. Primer fordulatszám (**kapocsfeszültség**) szabályozáskor a fluxus $\Phi_{névl}$ értékű,

az U kapocsfeszültség U_{min} - $U_{névl}$ -ig változtatásakor a fordulatszám egyenes arányban nő. Az ***I.*** tartomány szabályozhatósága $Sz_I \approx 10-50$, attól függően, hogy a motor általános rendeltetésű-e, vagy szervomotor-e?

II. Szekunder fordulatszám (**mezőgyengítéses, fluxuscsökkentéses**)

szabályozáskor a kapocsfeszültség $U_{névl}$ értékű, a Φ fluxus $\Phi_{névl} - \Phi_{min}$ -ig való csökkentésével a fordulatszám fordítottan változik, azaz nő. A ***II.*** tartomány szabályozhatósága: $Sz_{II} \approx 4-5$.

III. Vegyes fordulatszám szabályozáskor az U és a Φ értékét egyaránt

csökkenteni kell a keféskibrázás miatt. A ***III.*** tartomány szabályozhatósága:

$Sz_{III} = 1,2-1,3$.



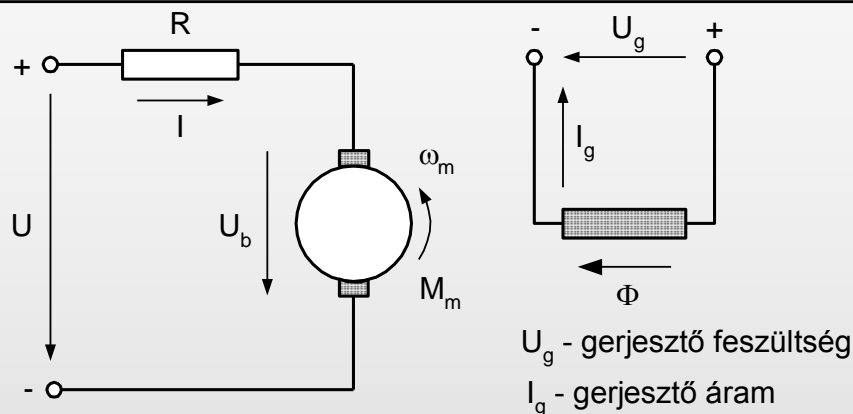
A 42.b. ábra szemlélteti a fordulatszám szabályozás egyes módjainak megfelelő, és a motorra jellemző teljesítmény- és nyomaték határdiagramot. A 42.c. ábra logaritmikus léptékű teljesítmény- és nyomaték határdiagram.

Állandó mágnesű egyenáramú motorok

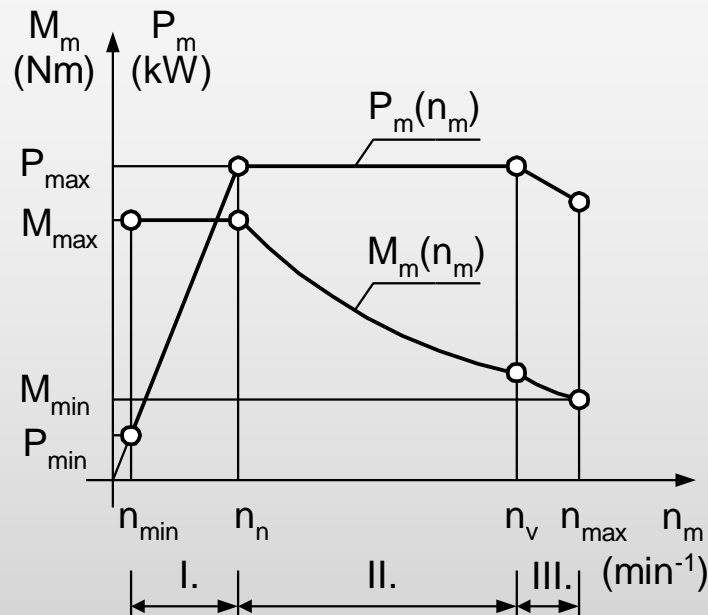
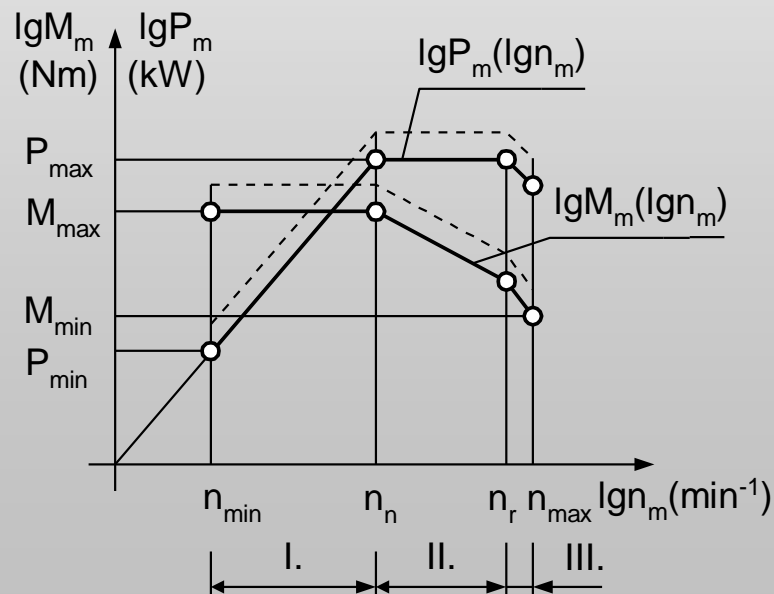
Az egyenáramú motorok álló- vagy forgórésze állandó mágnessel is készülhet.

1. Az **állórészükön** állandó (permanens) mágneses motorok többségükben *kisteljesítményű törpemotorok*, amelyeknek a Φ fluxusa állandó, ezért itt csak kapcsolófeszültség szabályozás lehetséges.

2. A **forgórészükön** permanens mágneses motorok az egyszerű egyenáramú motor kifordításával képzelhetők el. A forgórész helyére kerülő állórész ekkor állandó mágnesű (Φ =áll), a nagy mágneses térerőt kerámia mágnesek biztosítják. A kialakításból adódóan ezek **kefe és kommutátor nélküli motorok (BLDC)**, melyeket **elektronikus kommutációjú, vagy szinkron motornak is** neveznek. Jelük EC-Electronically Commutated. A kommutációhoz szükséges forgórész helyzetet pl. Hall szenzorok érzékelik.



42.a ábra: Az egyenáramú motor egyszerűsített kapcsolása



42.b ábra: Teljesítmény- és nyomaték határdiagramok

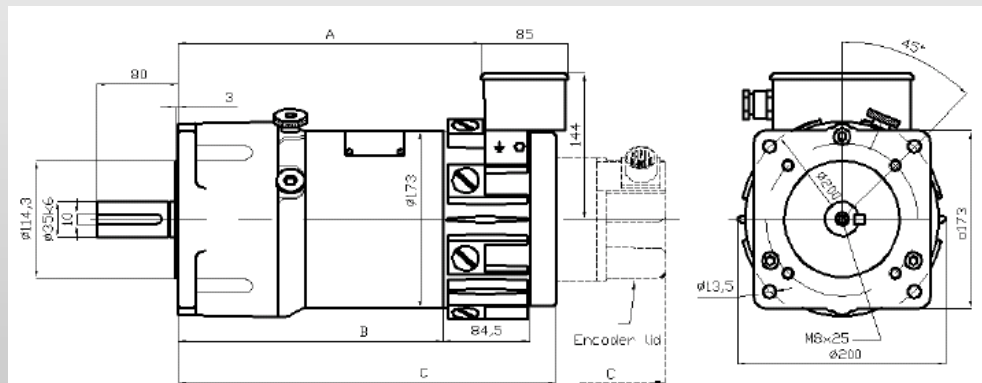
42.c ábra: Logaritmusos teljesítmény- és nyomaték határdiagramok

A szaggatott diagramok ED% < 100% esetre vonatkoznak, pl. 40% (Origóból ind.).

Az állórész legtöbbször három- vagy négyfázisú tekercselését a fordulat-iránynak megfelelő sorrendben kommutáló tranzisztorok kapcsolják az egyenáramú hálózathoz a forgórész helyzetétől függően, amely helyzetet pl. Hall-elemek, vagy más szöghelyzet adók érzékelhetnek. Alkalmazása főmotorként, vagy szervomotorként kinematikai hajtásokban, ma már kevésbé!



Egyenáramú motor
külső szellőzéssel
(Siemens)

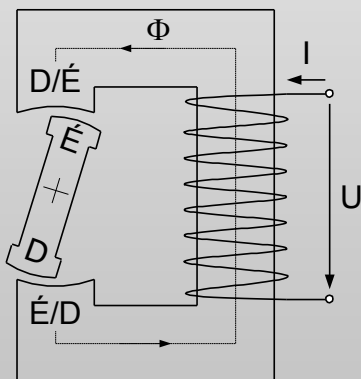


Állandó mágneses egyenáramú
szervomotor EZG X10, ...
(EMTC Villamos. Bt., Cegléd)

42.d ábra: Egyenáramú motorok

4.1.2. Szinkron motorok

A szinkron gépek állórésze rendszerint háromfázisú (az indukciós gépekhez hasonló), forgórésze pedig valamilyen állandó mágnes. Itt ismerhető fel legtisztábban a *kétmágnes elv*, a *két mágnes*, a *mágneses tengelyek* és a *terhelési szög*. Az állórészen állandó mágnessel kialakított egyenáramú géphez való hasonlóság alapján (álló- és forgórész csere) „*kefenélküli egyenáramú gépnek*” is nevezik, ahol a háromfázisú táplálás az elektronikus kommutációval vethető össze. A forgó szinkronmotor elvi felépítését a 43. ábra szemlélteti.



$n=f/p$, p = póluspárok száma

U =szinuszos

43. ábra: szinkronmotor működési modellje



Siemens főmotor
(SIMOTICS M-1PH8)



Bosch szinkron szervomotor
IndraDyn S-SMS
 $n_{\max}=5.000$ 1/min

44.a ábra: Szinkron (aszinkron) motorok



A szinkron motor, azaz a két mágnes egymásra nyomatékot csak akkor fejt ki, ha a *forgó mágneses mezővel a forgórész együtt, szinkron forog*. Állandó terhelő nyomatéknál a forgó mező és rotor között **β terhelési szög** alakul ki. Túlterhelésnél a motor szinkronból kieshet.

Szinkronmotorok fajtái

A ***hiszterézis (veszteség) motorokat*** a finommech.-ban használják: $P= 50\div 100\text{W}$.

Az ***állandó mágnesű szinkron motorokat*** elsősorban előtoló, pozícionáló hajtásokban, robothajtásokban használják, fordulatszám tartásuk jó: $P=0,5-10\text{ kW}$.

A ***reluktancia motorok*** a pólusok irányában és arra merőleges irányban eltérő mágneses ellenállást (*reluktanciát*) használják ki, ezért kiálló pólusokkal készülnek. $P: 50\div 200\text{ W}$.

A szinkrongépek építési alakjairól tájékozódhat pl. a

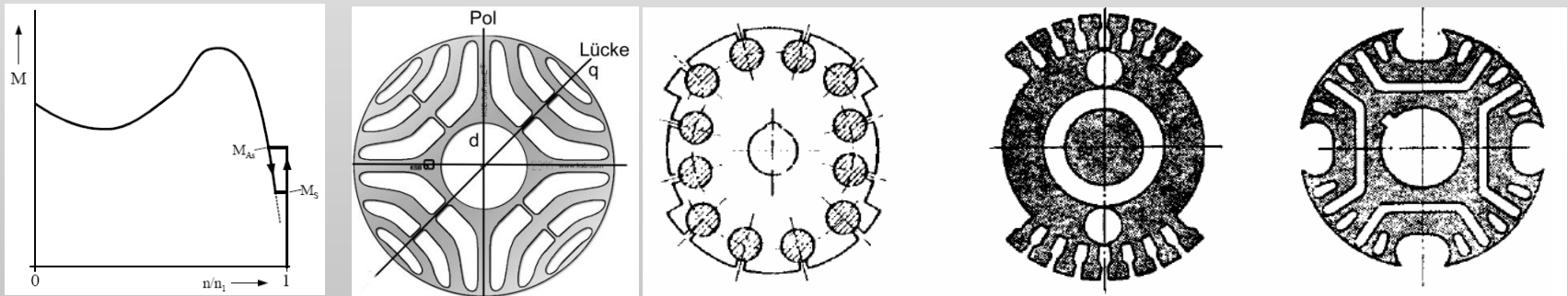
G.Schenke: Grundlagen der Elektrotechnik III. elektronikus jegyzetből.

Szinkronmotorokkal több hajtás együttfutása egyszerűen biztosítható 1:1 hajtóviszonyú elektronikus kinematikai láncsal. A fokozatmentes fordulatszám állítás frekvenciaváltoztatással, pl. közbülső egyenáramú körös frekvenciaváltóval történik. Az egyenáramú gépekhez viszonyítva jó a fordulatszám tartásuk és dinamikájuk, magas fordulatszámnál rövid ideig túlterhelhetők és nincs kommutációs probléma. A magasabb fordulatokat korlátozza a forgó mágnesekre ható röpítő erő.

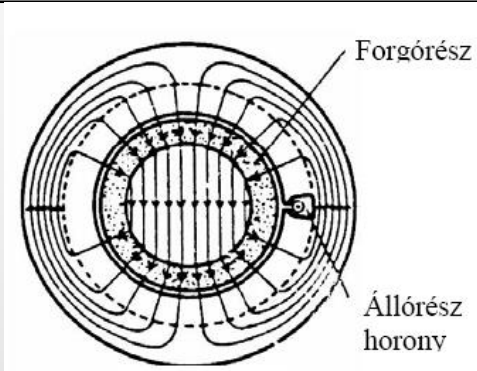


44.b ábra: IndraDyn-Nagy fordulatszámú szinkronmotor integrált hűtéssel
(Bosch-Rexroth)

4.1.2.a A reluktancia motorok 50-200 W teljesítményre készülnek. Forgórészük az aszinkron motorok kalickás forgórészére emlékeztet, de a reluktancia nyomaték keletkezése érdekében a forgórészt kiálló pólusokkal látták el úgy, hogy kb. a pólusok felének megfelelő részeken a légrést a fogak kimunkálásával megnövelték. A kimunkálások helyét és a forgórész hornyait alumíniummal öntik ki, amit a homlok-oldalakon gyűrűk kötnek össze. Ily módon egyrészt kialakult a kiképzett pólusú (nem állandó légrésű) forgórész test, másrészt indító kalicka is keletkezik (44.c ábra). Jó hatásfokú!



44.c ábra: Reluktancia motor (SynRM) forgórész kialakítások
(pl. Wikipedia)



44.d. ábra: Hiszterézis motor

$$M = c \cdot \Phi_h \cdot I_1 \cdot \sin\beta$$

4.1.2.b Hiszterézis motorok 50-100 W

teljesítményekre készülnek (44.d ábra). A forgórész egy mágnesezhető, kemény mágneses anyagú acélgyűrű, ami egy nem mágnesezhető vas, vagy műanyag belső hengeren helyezkedik el. Aszinkron üzemben, pl. indításkor kétféle nyomaték lép fel:

- a forgórész vastestében, (az acélgyűrűben) indukálódó örvényáramok miatt M_{asz} , aszinkron ny.,
- az acélgyűrű átmágneseződése miatt hiszterézis veszteség, ill. M_h hiszterézis nyomaték.

Előny: nagy idítónyomaték és nyugodt járás a forgórész körszimmetriája miatt.

4.1.2.c Állandó mágnesű szinkron motorok (P=0,5-10 kW)

Szerszámgépek, robotok előtoló, pozícionáló motorjai.



44.e ábra: Szinkron szervomotorok (AKM)

4.1.3 Aszinkronmotorok

A frekvenciaváltós aszinkron motorok fő jellemzői:

- A nagy választékú motorok viszonylag egyszerű felépítésűek, kis karbantartás igényűek.
- A kis tehetetlenségi nyomatékok következtében nagy gyorsítások (lassítások) érhetők el.
- A szokásos frekvenciasáv 0÷400 Hz, de igény esetén több kHz-es feszültség is előállítható, ezáltal igen nagy motor szabályozhatóság- és fordulatszám érhető el. Például 3000 f/min szinkron fordulatszámú, egy póluspárú aszinkronmotor 600 Hz-nél 36.000 f/min fordulátú.
- Az állandó teljesítményű tartományban lényegesen magasabb fordulatszámok érhetők el, mivel nincsenek kommutációs problémák.
- 4/4-es üzemre alkalmas motorok, azaz mindkét irányban forgás és fékezés lehetséges.

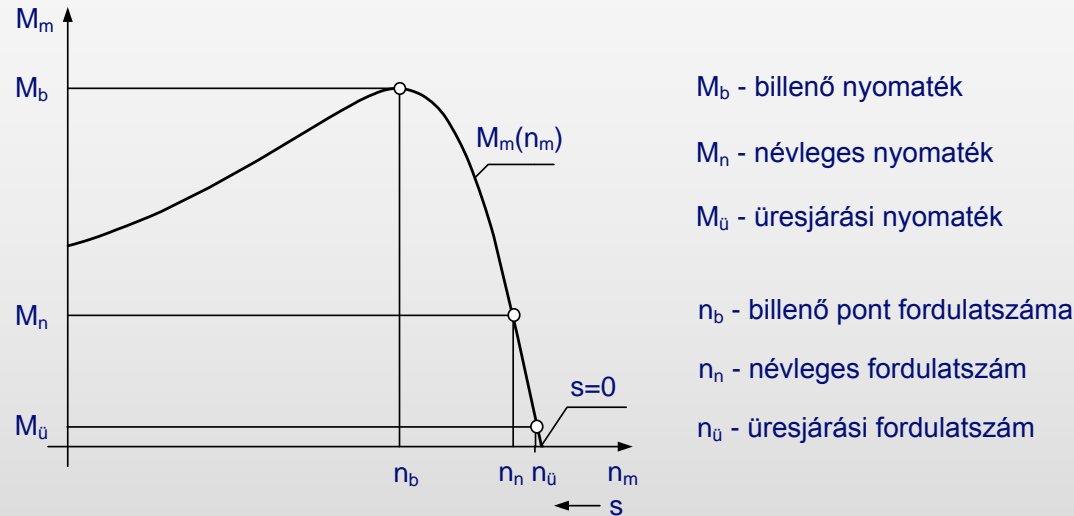
Aszinkron gép nyomaték-fordulat diagramja a 45. ábrán látható.



Aszinkron motorok

A legszélesebb körben alkalmazott villamos forgógép, amelynek fő jellemzői: háromfázisú váltóáramú táplálás, egyszerű szerkezeti felépítés, nagy választék, kis karbantartás igény, kis tehetetlenségi nyomaték.

Az állandó teljesítményű tartományban lényegesen magasabb fordulatszámok érhetők el, ui. nincsenek kommutációs problémák. Az aszinkronmotorok alkalmazását jelentősen kiszélesítette a jó minőségű, megbízható frekvenciaváltók- és szabályozók kifejlesztése. A szokásos frekvenciasáv 0÷400 Hz, de igény esetén több kHz-es feszültség és ezáltal magas fordulatszám állítható elő. Igényesebb hajtásoknál a motor kialakítása, vasmag anyagminősége, stb. eltér a szokásos aszinkron gépekétől. Az aszinkron motorok nyomaték fordulatszám (szlip) jelleggörbéje a 45. ábrán látható. A motorok n_n névleges fordulatszáma, különböző pl. 850, 1000, 1150, 1500, 1800 f/min lehet. Az aszinkron motorok teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai a 42.b,c ábra szerintiek.



45. ábra: Aszinkronmotor nyomaték-fordulatszám (slip) diagramja

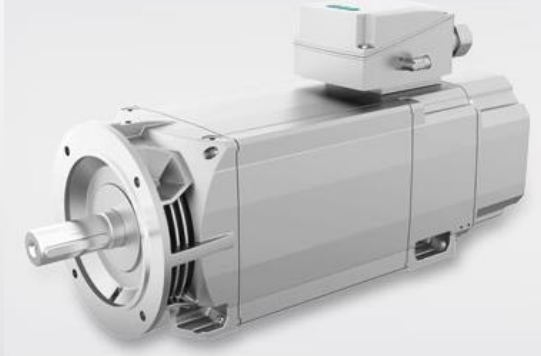
A motor nyomatékot csak aszinkron állapotban, azaz valamilyen $n < n_1$ fordulatszámnál fejti ki, amit az $M_m = M_m(s)$ nyomatéki egyenlet fejez ki:

A kalickás, (rövidrezárt) forgórészű motorok terjedtek el kisebb teljesítményeknél, az összefüggések alapján látható a frekvencia hatása a fordulatszámra:

$$M_m(s) \cong \frac{2 \cdot M_b}{\frac{s}{s_b} + \frac{s_b}{s}}$$

$$n_m = \frac{60 \cdot f_1}{p} (1 - s) \quad s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad M_m = K \left(\frac{U}{f_1} \right)^2$$

Aszinkronmotorok kiviteli példái



Siemens aszinkron (AC) (fő)motor



Bosch aszinkron (AC)
szervomotor folyadékűtéssel

IndraDyn A-MAF $n_{\max} = 11.000$ 1/min



Motororsó

$M_{\max} = 875$ Nm

$N_{\max} = 20.000$ 1/min

Nagy áteresztő átmérő

Nyugodt futás

Egyszerű beépítés

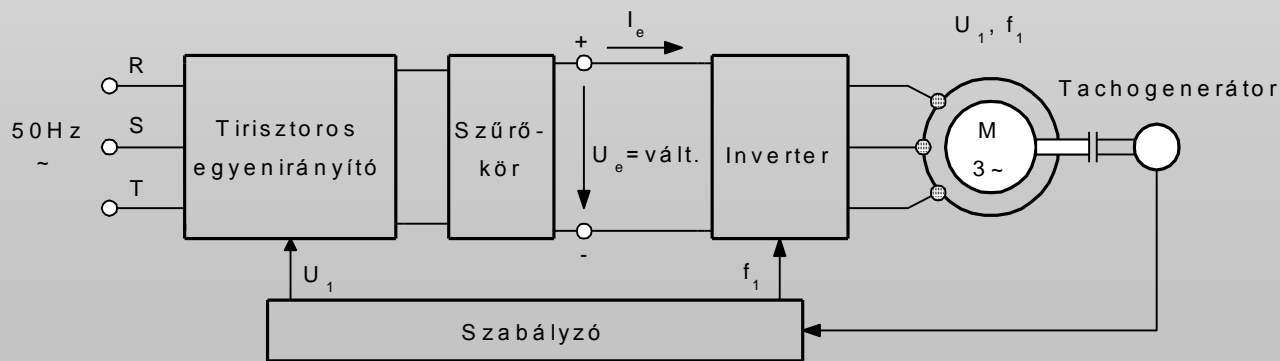
Nagyfordulatszámú aszinkronmotor
1MB - (Bosch Rexroth)



Bosch aszinkron (AC)
szervomotor léghűtéssel (IP67)
IndraDyn A-MAD $n_{\max} = 11.000$ 1/min

46. ábra: Aszinkronmotorok (teljesítmény és kinematikai hajtáshoz)

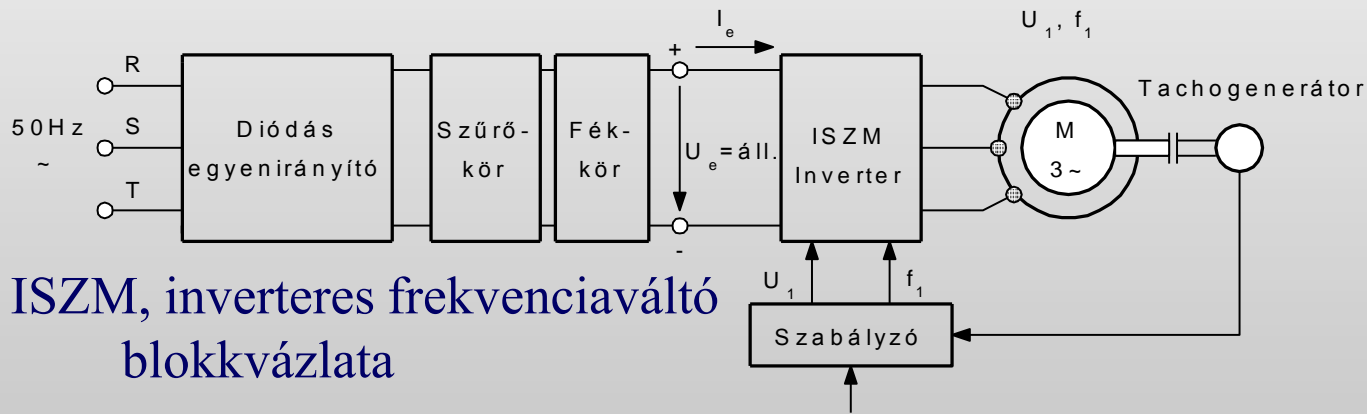
A frekvenciaváltós hajtásoknál két paraméter-, a *feszültség* és a *frekvencia* állítása szükséges, amelyet külön-külön egységek oldanak meg. **Az egyszerű közbenső egyenáramú körös, feszültség-inverteres** aszinkron motoros hajtásoknál nagy szabályozhatóság, a közbülső körbe beiktatott ellenállással és azt szaggató tranzisztorral 4/4-es hajtás valósítható meg. A feszültség-inverterek csak kikapcsolható félvezető elemeket tartalmaznak. Inverteres (egyenáramból váltóáramot előállító áramirányító) táplálással az aszinkronmotorok fordulatszámja veszteségmentesen szabályozható a tápfeszültség és a frekvencia egyidejű állításával. A frekvenciaváltók két fő egysége az: egyenirányító (váltóáramból egyenáramot képez) és az inverter, ami fordított (47. ábra).



47. ábra: Egyszerű feszültség-inverteres frekvenciaváltó blokkvázlata

A motor fékezése hálózatra visszatápláló, generátoros.

Az *ISZM (Impulzus SZélesség Modulációs) invertereknél* (48. ábra) a közbenső egyenáramú kör U_e egyenfeszültsége-, az inverterbe bemenő feszültség-, állandó a diódás egyenirányítás következtében. A diódás híd miatt a hálózatba visszatápláló fékezés nem lehetséges. Erről a szűrő után beépített generátoros fék (energiaelnyelő ellenállás) gondoskodik, így a hajtás 4/4-es.



48. ábra: ISZM, inverteres frekvenciaváltó blokkvázlata

Egyre inkább terjed az aszinkron gépek ún. *mezőorientált (vektor kontroll) fordulatszám szabályozása* mind a fő- és mellékajtásokban. Ennek oka az, hogy ennél a hajtástípusnál kedvezőbbek a tranziens üzem jellemzői, a fordulatszám beállítás gyors, lengésmentes és a fordulatszám pontosan tartható.



4.2 Motorok kiválasztása-Fontos!!

A motorok kiválasztása a főhajtómű előírt és meghatározott paramétereivel szoros összefüggésben, a szükséges teljesítmény (nyomaték) és fordulatszám alapján történik. A motorok teljesítménye a szükséges és elégséges értéket felülről közelítse, a túlméretezés gazdaságtalan, stb. A motor kiválasztása során számos további szempontot is figyelembe kell venni, illetve a rendeléskor megadni, mint az építési alak (IM), a védettségi fokozat (IP)-(IEC 34-5/1991), a hűtési mód (IC)-(IEC 34-6), az üzemmód (S1-S9)- (IEC 34-1), stb.. Ezeket az **IEC** - **I**nternational **E**lectrotechnical **C**ommission, azaz a Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság ajánlásai tartalmazzák.



4.2.1 Építési alak

A motorok különböző kiviteli, építési alakját az **IM** betűk utáni négyjegyű szám adja meg. Az építési alak a motor beépítési és csatlakozó méreteit foglalja magába, talpas motoroknál a tengelymagasságot és a talp méreteit, peremes motoroknál a perem geometriai adatait. Pl. az **IM 1001** jelű talpas motorok felfogása vízszintes sík felfogó felületre csavarokkal történik.

Továbbá az **IM 3001** jelű peremes motorok központosító pereme pontos tengelyhelyzetet biztosít, rögzítésre a motor külső gyűrű furatai szolgálnak. A motorok forgórésze rendelkezhet egyoldali, vagy kétoldali kihajtó tengellyel, esetleg furatos tengellyel, stb.

4.2.2 Védettségi fokozat

A védettséget az **IP** betűk utáni kétjegyű szám adja meg. Az első szám a motor személy és idegen test elleni, a második szám a víz elleni védettségre utal. A leggyakoribb védettségi mód az **IP 44**, ami az 1 mm-nél nagyobb eszközökkel, valamint bármilyen irányú fröcskölő vízzel szembeni védettséget jelent.



Védelmi fokozatok (érintés és idegen test ellen)

Szám	Érintés elleni védelem	Idegen test elleni védelem
0	Nincs védelem	Nincs védelem
1	Átmérő 50 mm feletti nagyfelületű testek ellen	Nagy idegen test átmérő 50 mm felett
2	Ujj elleni védelem (átmérő 12 mm)	Közepes idegen test (átmérő 12,5 mm-től, hossz 80 mm-ig)
3	Szerszámok, huzalok (átmérő 2,5 mm-től)	Kicsi idegen test (átmérő 2,5 mm-től)
4	Szerszámok, huzalok (átmérő 1 mm-től)	Szemcseszerű idegen testek (átmérő 1 mm)
5(K)	Huzalvédelem (mint IP 4) porvédett	Porvédelem
6(K)	Huzalvédelem (mint IP 4) porvédett/tömített	Semmi porbehatolás



Védelmi fokozatok (víz ellen)

Szám	Víz elleni védelem
0	Nincs védelem
1	Védelem a függőlegesen eső vízcseppektől
2	Védelem a ferdén eső (15°-ig) vízcseppektől
3	Védelem az eső permetszerű víztől, a függőlegestől 60°ig
4	Védelem bármely irányú spriccelő víztől
4k	Védelem bármely irányú spriccelő víztől, emelt nyomásnál (utcai járműveknél)
5	Védelem vízszögben (fúvóka), tetszőleges szögben beeső
6	Védelem erős vízszögben (árasztásos)
6k	Védelem növelt nyomású, erős vízszögben (árasztásos), (utcai járműveknél)
7	Védelem időszakos vízbe merítésnél
8	Védelem víz alá merítésnél
9k	Védelem víz alatt, nyomásnál/gőzszögben (utcai járműveknél)



4.2.3 Hűtési mód

A motor hűtési módját az **IC** betűk utáni számkombináció határozza meg. Az **IC0041** a természetes hűtésre utal, a gépnek nincs ventilátora. Az **IC01** saját szellőzésű motor, a hűtést a forgórészre szerelt, vagy arról állandó áttételen keresztül hajtott ventilátor biztosítja.

4.2.4 Melegedés

Az állandó üzemű motoroknál névleges teljesítménynél, állandósult állapotban a keletkező és eltávozó hőmennyiség egyensúlyban van normál környezeti feltételek mellett. **Rövid idejű és szakaszos üzemben** a motorokról a névlegesnél nagyobb teljesítmények és nyomatékok vehetők le. A túlterhelés mértékét mindig a hőegyensúly és a hőállósági osztály határozza meg. Valamely munkaciklusban a motor hőenergiává alakuló átlagos vesztesége azonos, vagy kisebb lehet a névlegesnél. Az ellenőrző számításokhoz legtöbbször az egyenértékű áramok módszerét használják. A motorok túlmelegedés ellen védettek.



4.2.5 Üzem módok

A motor különböző üzemmódokban terhelhető, de bármely üzemmódban is a motor melegedésére megengedett értékeket tartani kell. A motorokat különböző üzemmódokra tervezik a sajátosságoknak megfelelően. A szerszámgépeken használatos motorok több üzemmódban is igénybe vehetők, a motor kialakításánál erre tekintettel vannak.

A legfontosabb üzemmódok az alábbiak:

Az állandó üzem, jele S1, S6÷S9: ez a szerszámgépek alapvető üzemmódja. A gép állandó fordulatszámmal és állandó, vagy kissé változó terheléssel üzemel, azaz **bi%=100%**-os bekapcsolási idejű (idegen kifejezéssel 100 % ED - 100 % Einschaltdauer). A terhelés időnként szünetelhet. Pl. az **S1** állandó terhelést, az **S6** ciklikusan ismétlődő terhelést, az **S7** ciklikusan ismétlődő állandó üzemet, stb. jelent. Ekkor a statikus terhelés alapján számított névleges teljesítmény tartósan levehető. A motor hőegyensúlya beáll, a melegedés névleges értékű.



A rövid ideig tartó üzem, jele S2: ezt igen változó terhelések jellemezik. Az indítások és fékezések hatása a melegedésre elhanyagolható. Rövid ideig tartó üzemmódban a motor meghatározott, ajánlott $t_{\text{ü}}$ üzemideig, **10, 30, 60, 90** percig üzemeltethető, de hőmérséklete rendszerint nem éri el az állandósult értéket. **Kikapcsolás után a motor a környezeti hőmérsékletre hűl le.** A $t_{\text{ü}}$ üzemidőre számított levehető teljesítmény a névlegesnél nagyobb. Ez az üzemmód pl. darumotoroknál célszerű.



A szakaszos üzemű gépeknél (S3÷S5) gyakoriak a motor melegedését befolyásoló indítások és fékezések, a ciklikusan ismétlődő terhelés és fordulatszám állandó lehet. Szakaszos üzemben a $t_{ü}$ üzemidőt és a t_c ciklusidőt figyelembe véve határozzák meg a **$bi\% = t_{ü}/t_c \cdot 100\%$** százalékos, vagy a viszonylagos bekapcsolási időt, amelynek szabványos értékei: **15%, 25%, 40%, 60%**. Szakaszos üzemű gépnél a t_c ciklusidőt általában **10 perc**ben korlátozzák. Állandó üzemű gép szakaszos üzemre való felhasználásakor a ciklusidő **$t_c \geq 10$ perc**, és azt a százalékos bekapcsolási idővel együtt adják meg. A szakaszos üzem ekkor a periodikus terhelésű folyamatos üzemnek felel meg- jelölése ezért lehet **S6** is- azzal a különbséggel, hogy a motort kikapcsolják. **A motor lekapcsolás után nem hűl le a környezet hőmérsékletére.** A kihasználható teljesítmény a névlegesnél nagyobb.

Motor szigetelési osztályok

E +120 °C-ig, **B** +130 °C-ig, **F** +155 °C-ig, **H** +180 °C-ig



4.3 Léptetőmotorok

A léptetőmotorok a szinkrongépek különleges változatát képviselik, kialakításuk a reluktancia motorokhoz hasonló, állórészük kiálló pólusokkal készül (2, 3, 4, 5), amelyek szimmetrikus, vagy aszimmetrikusak lehetnek. A pólusokat a tekercsekbe vezetett egyenáram impulzusok gerjesztik a vezérlésnek megfelelően, ettől függően az *eredő mágneses mező csak diszkrét helyzeteket* foglalhat el α osztásonként .

Szinkrongépeknél a mező állandó szögsebességgel forog. A forgórész állandó mágnesű (gerjesztett), vagy gerjesztetlen (lágymas) és különböző alaki jellemzőkkel épülhet. **Léptetőmotor típusok:** váltakozó (bipoláris)-4 kivezetéssel, vagy azonos (unipoláris)-5, vagy 6 kivezetéssel.

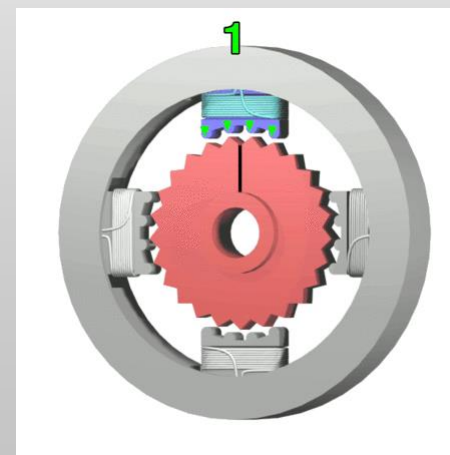
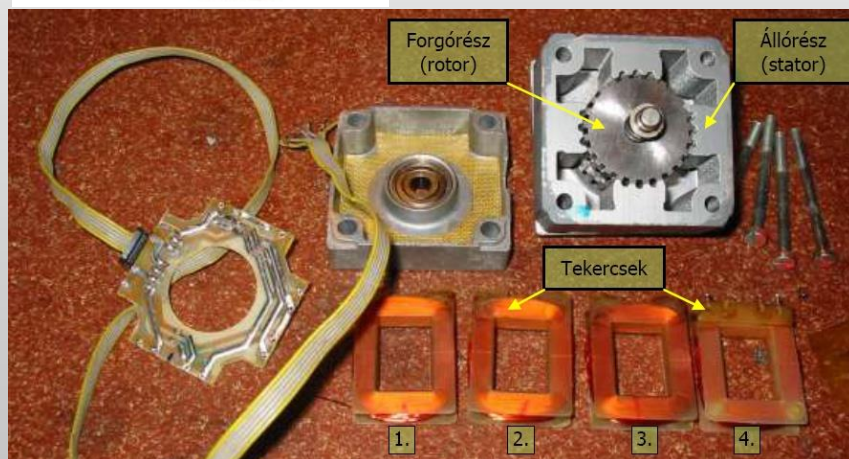
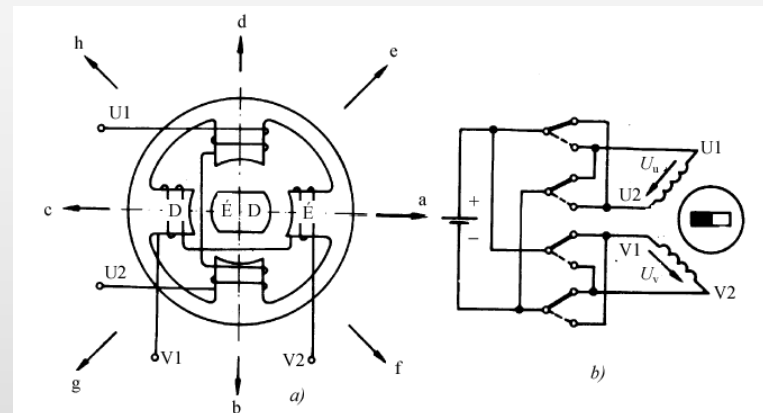
Bipoláris kapcsolást szemléltet a 49. ábra, ahol a fázistekercsek két-két szembenálló póluson helyezkednek el. Az álló- és forgórész pólusok száma eltérő.

Léptetőmotor típusok: PM (Permanent Magnet -Állandó mágneses), VR (Reluktancia) PM-VR (Hybrid) PG (Permanent Magnet+Bolygómu), PL (Permanentmagnet Linear)

További ismeretek pl. a: „qtp.hu/elektro/leptetomor_kapcsolasok.php” cím alatt érhetők el.

Az α lépésszög, z_{forg} -a forgórész pólusok, m -a fázisok száma:

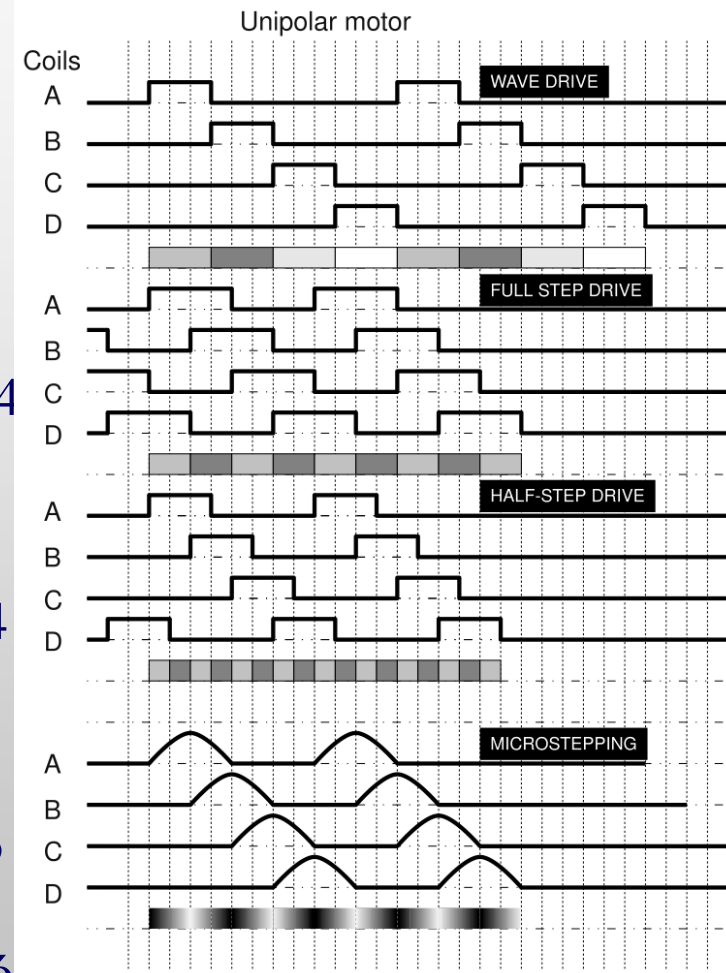
$$\alpha = \frac{360^\circ}{z_{\text{forg}} m}$$



49. ábra: Léptetőmotor bipoláris táplálása és elvi kapcsolása

Léptetőmotorok üzemmódjai (50. ábra)

- **Egyfázisú, teljes lépéses** : egyszerre csak egy tekercs van gerjesztve, 1 – 2 – 3 – 4 - ..., egy lépés tipikusan $1,8^\circ - 5^\circ$.
- **Teljes lépéses (Full step)** : egyszerre két szomszédos tekercs van gerjesztve, 12 – 23 – 34 – 41 - ..., így nagyobb a nyomaték, lépésszög nem változik.
- **Féllépéses (Half step)** : 1 – 12 – 2 – 23 – 3 – 34 – 4 - ..., feleződik a lépésszög.
- **Mikrolépéses (Micro step)** : a tekercsek gerjesztő feszültsége analóg növekvő-csökkenő értékeket vesz fel (felváltva szinuszosz illetve koszosz). Szinte bármilyen pozíció beállítható -> finom, rezgésmentes járás, cserébe bonyolult, drága vezérlés (a névleges feszültség szétosztott).



50. ábra:
Léptetőmotor üzemmódok

A golyósorsós és a lineáris szánmozgatás összevetése

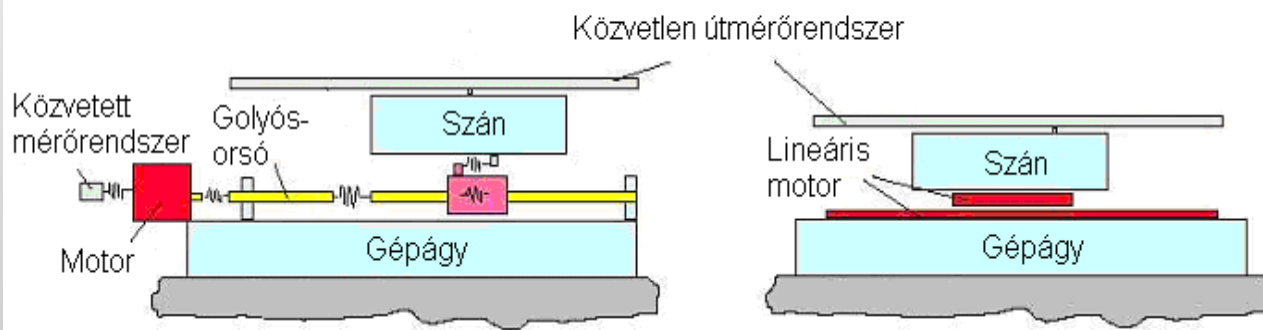
Összehasonlítás

Hagyományos golyósorsós hajtás

Közvetett erőfelépítés
→ korlátozott dinamika

Lineáris közvetlen hajtás

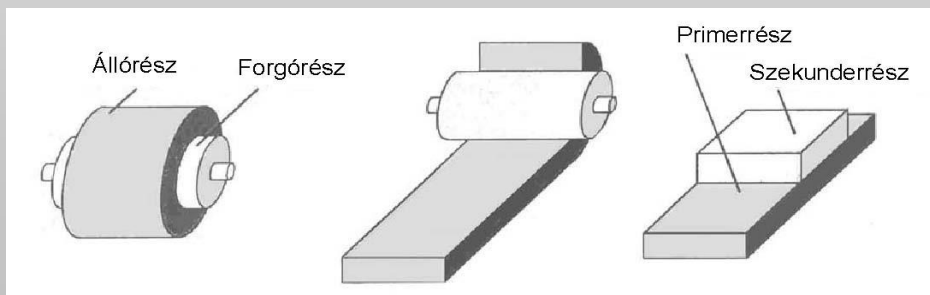
Erőátadás közvetlenül a szánon
→ Nagy dinamika



A lineáris közvetlen Hajtás két fő előnye:

- a nagy gyorsulás, akár $a=(1-10)g$,
- jó dinamika.

Alkalmazását a tömeg nagysága korlátozza!



52. ábra: Szánmozgatási módok

Lineáris indukciós, aszinkron motorok alkalmazásának szempontjai

Előnyök

- Nincs mechanikai kapcsolódás és azzal járó veszteség, nem terhelhető túl
- Jól szabályozható, a pozicionálási ($0,1 \mu\text{m}$ -ig) és ismétlési pontosság is jó
- Nagy statikus és dinamikus terhelhetőség, kis lengések, nagy gyorsulás értékek
- Hosszú élettartam, egyenletes sebesség még kúszómeneti sebességeknél is, stb.
- Tetszőleges lökethosszak, karbanterhelhetőség.



Hátrányok

- Nagy hőterhelés, a hőt el kell vezetni, pl. állandó cirkulációs megoldással.
- Aszimmetrikus építésnél nagy aszimmetrikus erők-vezetési megoldás kell!
- A pozicionált helyzetben tartásról gondoskodni kell - külön fék!!
- A nyitott szerkezet védelmét szennyeződés ellen meg kell oldani!
- Nagyobb költségek és helyigény más megoldásokhoz képest, stb.

Alkalmazása egyre szélesebb körben: pl. síkmotorok!



4.5 Motortípusok, szabályozások

A szabályozott teljesítmény- és kinematikai hajtásokban található motorok szerkezeti kialakításukban, tulajdonságaikban jelentősen eltérnek.

A hajtásszabályozások alapvető típusai:

- *Sebességszabályozás*: a szabályozott jellemző fordulatszám, sebesség.
- *Helyzetszabályozás*: a szabályozott jellemzők az elmozdulás és a fordulatszám, vagy sebesség.

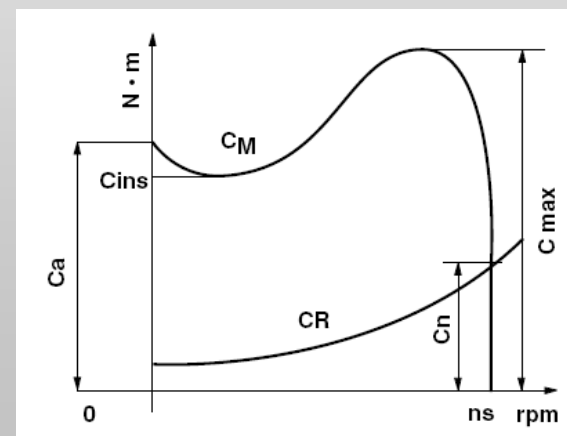
A szabályozott és egymással összefüggő tengelyek száma 1-6 lehet, jelölésük: 1D-6D.



Egyfázisú motorok



53. ábra: Motorok





4.6 Villamos készülékek

A villamos készülékek a mechatronikai berendezések villamos motorokon kívüli nélkülözhetetlen elemei, amelyek az elektromechanikus, villamos és fluidmechanikai rendszerekben használatosak. Ehelyütt csak néhány alapvető elem bemutatására vállalkozhatunk az elmozdulást végző kiefeszültségű elemekből. Ezek lehetnek pl.:

- Kapcsolók (pl. mágneskapcsoló, relé),
- Érzékelők (pl. végállás kapcsoló),
- Elektromechanikus tengelykapcsolók (pl. súrlódó lemezes tk.),
- Egyéb villamos készülékek.

A villamos készülékek többféleképpen megszerezhetők.

Kapcsoló, vagy *analóg* típusú készülékek.

A *kapcsoló típusokon* belül lehetnek működtető (pl. elektromágnesek, mágneskapcsolók, segédrelék, időrelék, stb.) és érzékelő (végállás kapcsolók) készülékek (54. ábra). A

A működtetés módja lehet *húzó*, vagy *nyomó*.

A működtető áram lehet: *váltó*-vagy *egyenáram*.

Készletelés típusa: *behúzásra*, vagy *elengedésre* készleteltettek.



a., Mágneskapcsoló



b., Görgős
végálláskapcsoló

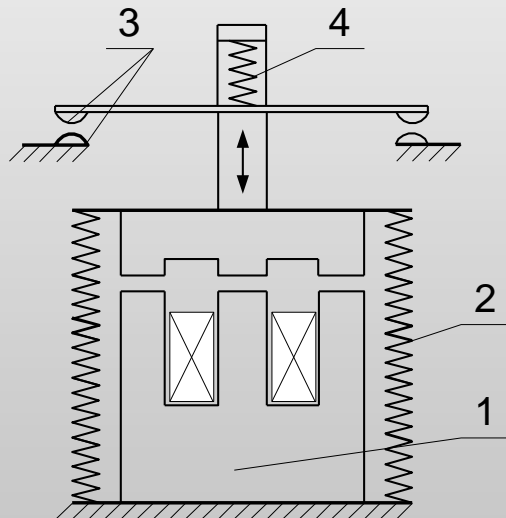


c., Elektromágneses lemezes
súrlódó tengelykapcsoló

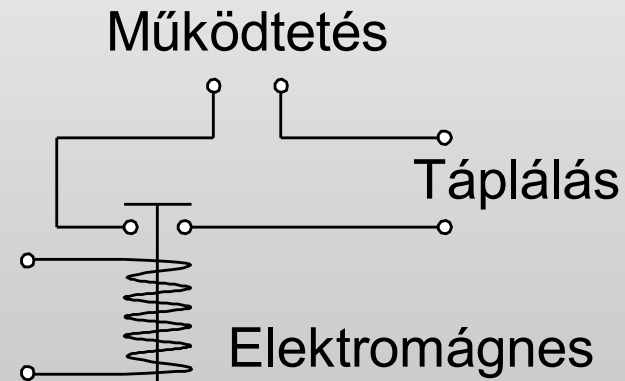
54. ábra: Villamos készülékek

A **55.a ábra** mágneskapcsoló (kontaktor) elvi felépítését mutatja, ahol **1**-a működtető mágnes és tekercse, **2**-a mágnes mozgó részét kikapcsoló rugó, **3**-érintkezők, **4**-mozgó érintkezőt feszítő rugó.

A **55.b ábra** relé alkalmazására mutat példát, rendszerint segédáramkörökben.



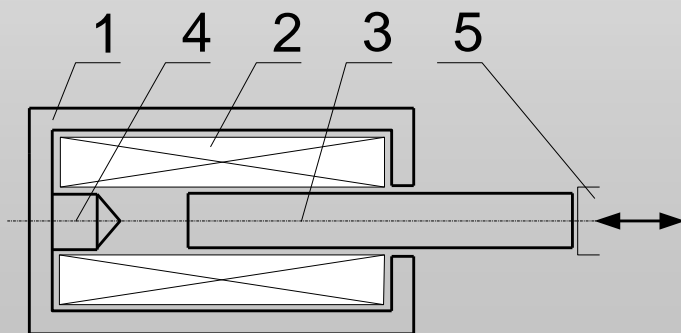
55.a ábra: Mágneskapcsoló



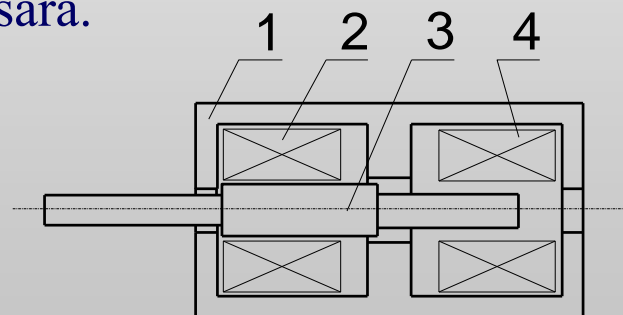
55.b ábra: Relé

A **55.c ábra** a hengeres (szolenoid) kialakítású elektromágnes elvi kialakítását szemlélteti, ahol **1-fémház (vas)**, **2-tekercs**, **3-vasmag**, **4-ütköző**, **5-a** működtetett elem. A táplálás váltó-vagy egyenáramú, az elektromágnes nyomó, vagy húzó. Alkalmazásukra pl. a fluidmechanikai szelepek működtetése említhetők, löketük maximum **20-25 mm-ig** terjed.

A **55.d ábra** egy kétállapotú (bistabil) hengeres elektromágnes kialakítását mutatja, ahol **1-fémház**, **2-tekercs**, **3-állandó mágnes**, **4- tekercs**. Alkalmazása gépkocsik központi zárrendszerének működtetésére, vagy a fluidtechnikában impulzus szelepek két állapotának kapcsolására.



55.c ábra: Hengeres (szolenoid) elektromágnes



55.d ábra: Kétállapotú hengeres elektromágnes
(Lásd gépjárművek zárszerkezetét!)



További elektromágnes alkalmazások

Elektromágneses súrlódó lemezes tengelykapcsolók és fékek, amelyek lehetnek erőzárók egy, vagy több súrlódó lemezzel, vagy alakzárók fogakkal.

Indukciós tengelykapcsolók, fékek.

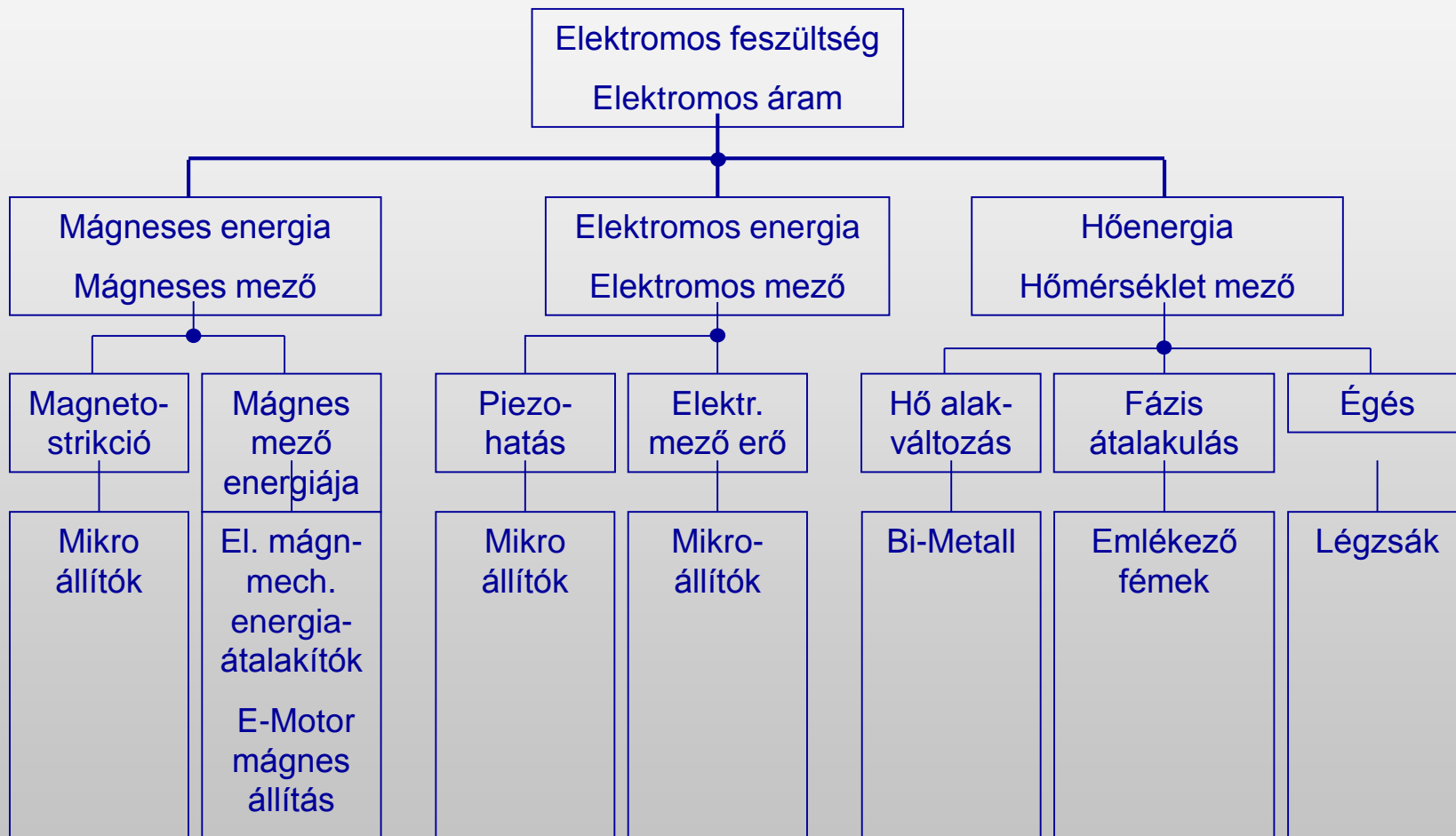
Lényegében aszinkrongép. A primer forgórész gerjesztő tekercseit csúszógyűrűn keresztül táplálják, a szekunder rész a forgórészt szlippel követi, ami terhelésfüggő. Hátrányuk a melegedés.

Mágneporos tengelykapcsolók

A két tengelykapcsoló fél között mágnesezhető és kenőanyagban elhelyezkedő vaspor teremt kapcsolatot gerjesztéskor.

Stb.

Elektromechanikus aktuátorok rendszerezése



1. táblázat: Prof. Dr. Dieter Schramm előadása nyomán (Duisburg Essen Uni.)-BOSCH



Különböző aktuátorok tulajdonságai

Tulajdonságok	Elektromágneses	Hidraulikus	Piezoelektromos
Előnyök	Egyszerű átviteli tulajdonságok Széles frekvencia tartomány	Kedvező teljesítmény-súly arány Nagy erők	Egyszerű átviteli tulajdonságok Közepes frekvencia tartomány
Hátrányok	Nagy tömegek Viszonylag kis erők	Az átviteli tulajdonság a fluidum dinamikától függ	Viszonylag nagy hossz méretek Nagyfeszültségű erősítő
Szabályozási frekvencia tartomány	< 1000 Hz	< 250 Hz	< 500 Hz

2. táblázat: Prof. Dr. Dieter Schramm előadása nyomán (Duisburg Essen Uni.)-BOSCH



4.7 Új típusú (villamos) aktuátorok

KEMÉNY anyagok

<http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity>

Piezelektromos, Elektrostrikiós (elektromos tér hatására szimmetrikus kristályok alakváltozása)

Magnetostrikiós (mágneses térbe helyezett ferromágneses anyagok /kristályok/ alakváltozása)

Ikerfémek, Bi-metálok (Hőre deformálódó)

Emlékező fémek (SMA, Ni-Ti/NITINOL, „izomhuzalok”), és **Polimerek**
Térfogatváltoztató anyagok.

Mikrogömb kompozitok

További aktuátor anyagok

Elektrorheologiai (elektromos mezőbe helyezett folyadék viszkozitás értékének növekedése)

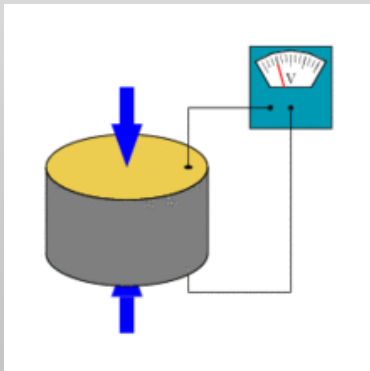
Magnetorheologiai (MSM) (mágneses mezőbe helyezett egyes folyadékok viszkozitás értékének növekedése)

Emlékező polimerek (SMP)

Piezelektromos aktuátorok (pl. SiO_2)

A piezo anyag összenyomásakor feszültség keletkezik. Elektrosztrikciónál a jelenség fordítottja lép fel: *elektromos térben* a kvarckristály méretei megváltoznak, az elektromos mező irányában megnő. Gyors működésűek, nagy erők állíthatók elő, kopásmentesek, viszonylag kis elmozdulások jellemzik. Ha az elmozdulás korlátozott, akkor a hatás erő alakjában jelenik meg! Teljesítményerősítésük jobb, mint pl. a magnetostruktív aktuátoroknak.

Alkalmazások: hangszórókban, mikrofonokban, piezo motorokban (lineáris, forgó), rezgéscsillapításra, mikrorobotokban, ultrahangos tisztításra vízbázisú közegben, mérések, mikroszivattyúkban, mikromegfogók- és manipulátorokban, mikroadagolóknak, translációs mozgások létrehozására.



$$u_y = u_{y0} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$u_x = u_{x0} \sin \omega t$$

<http://en.wikipedia.org/wiki/Piezoelectricity>



Kristályanyag lehet természetes pl. kvarc (SiO_2), vagy mesterséges, mint pl. a báriummal bíró különböző összetételű kristályok.

A piezoelektromos hatásmechanizmus alapján, a kristályok anizotróp tulajdonsága miatt, gerjesztéstől függően (a kristályok alakváltozási irányainak megfelelő) két alaptípus létezik:

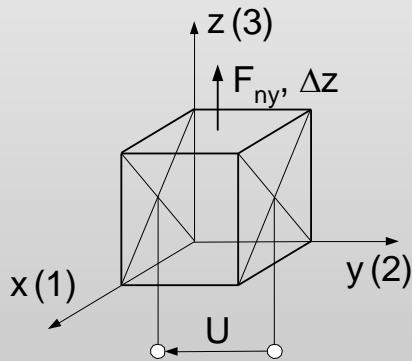
- Hosszirányú (longitudinális), azaz polarizációs tengelyirányú (56.a ábra),
- Keresztirányú (transzverzális), amely az előzőre merőleges (56.b ábra).

Legtöbb alkalmazásnál a feszültség a polarizációs irányba esik. Az elmozdulás arányos a feszültség nagyságával. Piezo hatás addig van, amíg gerjesztés is van. Gyakorlati alkalmazásokra többrétegű piezoaktuátorok szolgálnak (57. ábra).

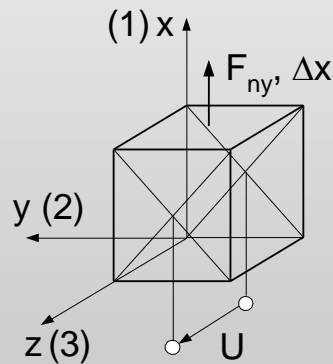
A rúd(tárcsa) alakú lineáris elmozdulású piezo aktuátorok mellett hajlító piezo aktuátorok is léteznek (bimorf és disk alakúak).

A *hosszirányban rétegelt kialakítás* vékony piezokerámia lapokból áll, amelyek között vékony, sík fémelektrodák találhatók a tápláláshoz. Ezeket hosszirányú alakváltozás jellemzi (57.a ábra).

A *keresztirányban, sávokban rétegelt kialakításnál* a keresztirányú hatást használják ki (57.b ábra).

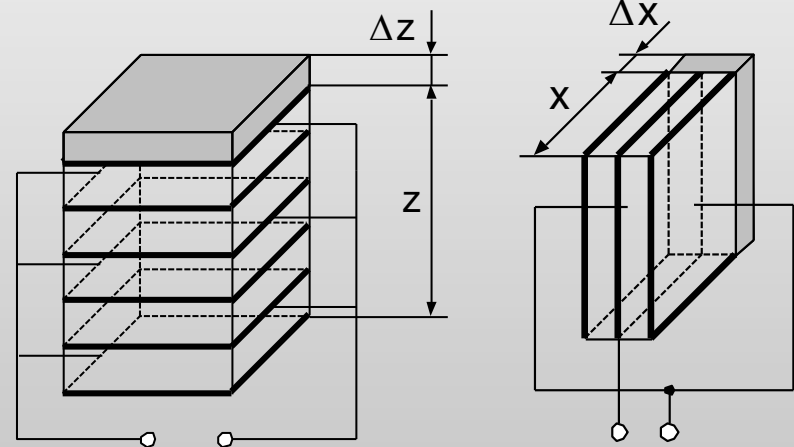


a.,



b.,

56. ábra: Piezoelektromos hatásmechanizmus



a.,

b.,

57. ábra: Piezoaktuátor kialakítások

Példák a piezo alkalmazási területeire 1.

A piezoaktuátorok egyre szélesebb körben nyernek alkalmazást. Fő alkalmazási terület ott található, ahol kis és pontos elmozdulásokra, nagy erőkre van szükség.

Gépészet, precíziós gyártás: aktív rezgéscsillapítás, szerkezet(struktúra) átalakítás, nem kör alakú esztergálás és fúrás, szerszám finomállítás és kopáskompenzálás, gyújtógyertya, mikrogravírozás, hidr. túszelep állítás, forgó és lineáris hajtás, ultrahangos mosás, lézertükör beállítások, szerkezetek hézagmentesítése és előfeszítése, nagy pontosságú vezetések, pontos pozicionálások az aktuátorlánc különböző helyein mérés technikában. stb.,



58.a ábra: Lineáris léptetőmotor

Nexline N-111 piezo lineáris léptetőmotor (58.b ábra)

Mozgástartomány: 10 mm
Felbontás: 0,025 nm / 5 nm
Működtető erő: 50 N
Tartóerő: 70 N
Max. sebesség: 1 mm/s
Tápfeszültség: ± 250 V
Tömeg: 245 g



58.b ábra: Piezo lineáris léptetőmotor
 $F=7$ N, $L=100$ mm
(Wikipedia)

U-264 PILine® U-264 RodDrive Piezomotor-Direktantrieb

Példák a piezo alkalmazási területeire 2.

Optika, mérés technika: képstabilizálás, scan mikroszkóp, auto-fokusz rendszer, Interferometria, száloptika pozicionálás, adaptív optika, diódás lézer gerjesztés, tükör scanner, rezgés gerjesztés, nyomtatók, stb.

Mikroelektronika: nano mérés technika, maszkolástechnológia (prototype), méretellenőrzés, m.litográfia, felügyeleti rendszer, aktív rezgéscsillapítás, stb..

Medicina, biológia: scan mikroszkópia, géntechnológia, Patch-Clamp rendszer (mikropipetta), mikromanipulátor, cella penetráció, mikromennyiség adagolás, audiológia gerjesztés, stb.. **Konsumcikkék:** hangszóró, szikragyújtó, gyertya

Wikipedia, Piezo technika



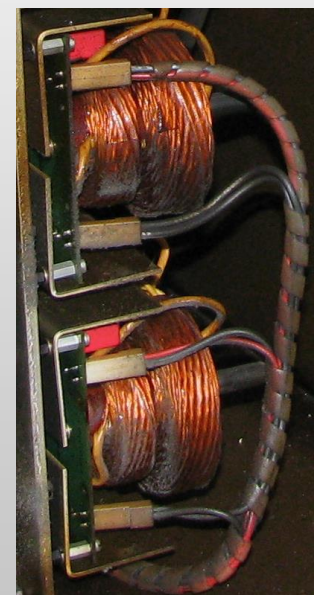
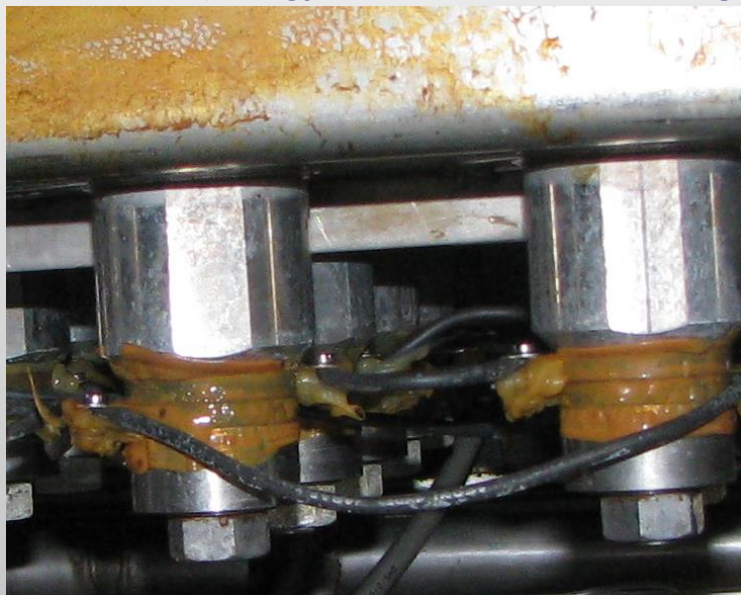
59. a ábra: **BMW** piezo befecskendező



59. b ábra: **PZD-PIEZO Drive**
Autofókusz (Tamron)

Példa piezo alkalmazásra 3.

Ultrahangos mosó-tisztító berendezés, pl gépipari alkatrészek, elektronikai panelek, vagy konzumcikkekre feltapadt, felhegedt szemcsék, szennyeződések eltávolítására. A piezo rezgető egységek a vízbázisú folyadékban rezegéseket hoznak létre (Megj.: korábban a közeg *freontartalmú* volt, amit betiltottak!).



60. ábra: Piezo aktuátor alkalmazása ultrahangos mosó berendezésben
Balra piezo rezgető fejek, középen egy kisserelt piezo kerámiás fej,
jobbra a gerjesztő tekercsek



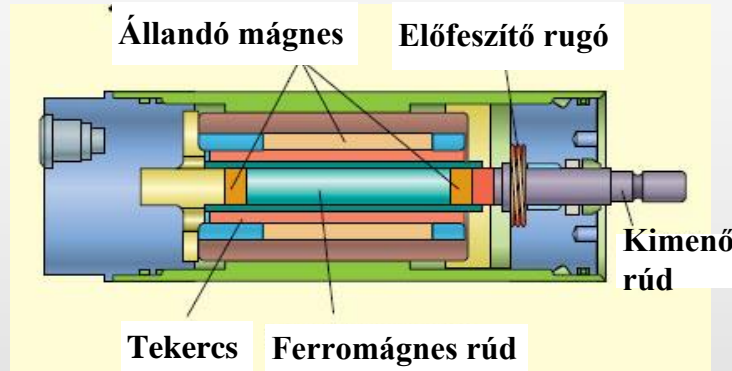
További mikroaktuátorok (Mikroszenzorok)

A mikroaktuátorok, vagy más néven mikro elektromechanikai rendszerek (MEMS) (Micro-Electro-Mechanical-System) mérettartománya mm alatti és gyakran a μm , vagy attól kisebb nagyságrendbe esik. Ezek ma már egyre több helyen kapnak alkalmazást. Az alábbiakban példaként további eszközöket sorolunk fel.

Magnetostrikciós aktuátorok (James Joule 1842)

(Magnetostrikciós szenzorok, pl. www.mtssensor.de/Magnetostriktion.26.0.html)

A magnetostriktív aktuátorok (szenzorok) a ferromágneses anyagok azon tulajdonságát használják ki, hogy *mágneses mező (energia)* hatására a mágneses domainok elrendeződése, azaz a mágneses permeabilitás megváltozik. A keletkező mech. feszültségek hatására a test rugalmasan alakváltozik ($10\text{-}30 \mu\text{m}/\text{m}$), de térfogatuk lényegében nem (kivéve az invar acélokat). A magnetostrikció gyakorlati alkalmazása ultrahangkeltés, amit a piezo-kerámiákkal szemben több előnnyel is bír. Pl. a kötegelt Ni-Vas lemezek belsejében lévő tekercsre váltakozó áramot kapcsolnak, amelynek frekvenciája a létrehozni kívánt ultrahang frekvenciájától függ. A tekercsek által létrehozott változó mágneses térben a magnetostrikció következtében a lemezek gyors alakváltozása hozza létre az ultrahangot.



61. ábra: Magnetostríciós aktuátor példa
(Wikipedia)

Elektrosztatikus aktuátorok

Egy-egy feladatra sokszor előnyösebbek az elektromágneses aktuátorokkal szemben. Működési elve: két párhuzamos, elektrosztatikusan feltöltött lemez között ébredő erőt használja ki.

Felhasználás: pl. mikro-motoroknál, mikro-tükörnél, mikro-scannereknél, mikro-relékben.

Termomechanikus aktuátorok

Ikerfémek (bimetall)

Két különböző hőtágulású fémből készített lemez, mely hő hatására elhajlik. Anyaga nikkelacél. Az ikerfémes műszerek az ikerszalag két összetevőjének eltérő hőtágulását használják ki. Felhasználás: váltakozó áram mérése, gépjárművek-porlasztókban, motorok, relék túlterhelés elleni védelmére-kapcsolásra, mikrokapcsolókban, mérőeszközökben, hőmérséklet mérésre, háztartási eszközökben: kávéfőzők, kenyérpírítók, vízforralók kikapcsolására.



62. ábra: Hőmérséklet mérési példa spirál alakú bimetállal
(Wikipedia)



Termikus és más behatással működő aktuátorok

További termomechanikus alkalmazások: pl. mikro-szelepek, mikro-megfogók.

Termopneumatikus alkalmazások: mikroszivattyú, mikroszelep.

Alakemlékező fémötvözet aktuátorok (SMA-Shape Memory Alloys)

A fém kristályszerkezete hő, vagy terhelés hatására átalakul, alakja megváltozik.
Felhasználás: szelepvezérlés, orvosi alkalmazás, fogszabályozók, robotok, tűzjelző, konzum termékek.

Alakemlékező polimer aktuátorok (SMP)-polimer gélek

Sokféle hatásra működtethetők: pl. hőmérséklet, PH érték, mágneses, vagy elektromos erőter. A behatásra változhat a térfogat, a mechanikai, optikai, transzport tulajdonság.

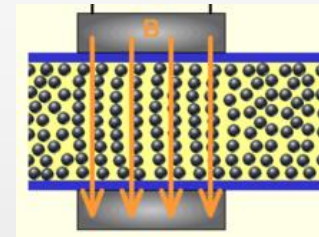
Felhasználás: szabályozott anyagleadás (gyógyszer), mesterséges szövet, mesterséges izom (mágnes gél), hőmérsékletre érzékeny üveg, stb..

Vezérelt, adalékolt folyadékok

Magnetorheologiai aktuátorok (MR)

http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetorheological_fluid

A folyadék (olaj) mágnes szemcséket tartalmaz.



(Wikipedia)

Elektromágneses gerjesztéskor a folyadék viszkozitása megváltozik.

Felhasználás: lengéscsillapítók, tk-fék nyomaték, optika-polírozás, csapágy.

Elektrorheologiai aktuátorok (ER)

Elektromos mezőbe helyezett folyadék viszkozitás értékének növekedése.

Külső erőter hatására a folyadék tulajdonságai megváltoznak.

Felhasználás: lengéscsillapítók, tk-fék, stb..

Égés-gáz alkalmazása

Légzsákoknál (Air Bag)



További MEMS (Micro ElectroMechanical System) alkalmazások

A mikrotechnika alkalmazása szenzortechnikai céllal pl. az autóiiparból jól ismert. Ilyenek a nyomásmérők (autókerék nyomásér, olajnyomás é), a gyorsulásérzékelők (ESP), légzsák működtető (elől, oldalt-Crash). Háromirányú gyorsulásszenzorok az ESP-hez (Electronic Stability Program - Elektronikus Menet Stabilizátor).

Részletesebb ismereteket pl. Dr. Szénásy István „Szenzorok és aktuátorok” (TAMOP 4.2.5 - 2011), (Tankönyvtár) c. tananyagban találhat.

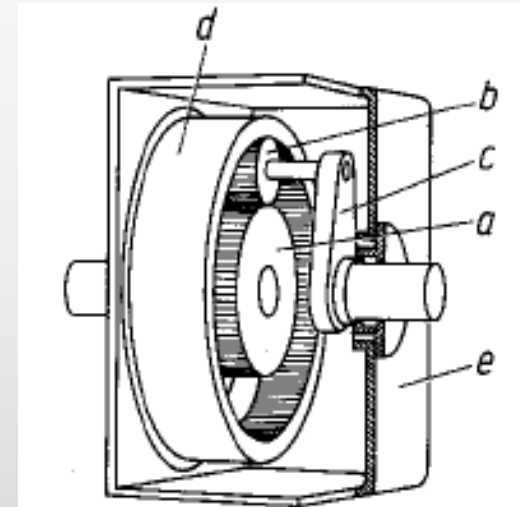
5. Bolygóhajtóművek (jellemzés)

- Nagy lassítások valósíthatók meg
- Jó hatásfok
- Kis méret
- Nagy teherbírás
- Zajos
- Hajtásösszegzőként és hajtás-szétágaztatóként is alkalmazhatók

Alkalmazások

- Kéziszerszámgépek (2, 3 fokozat)
- Hibrid gépjárművek (hajtásösszegző)
- Automata sebességváltók
- Differenciálművek (hajtás-szétágaztató)

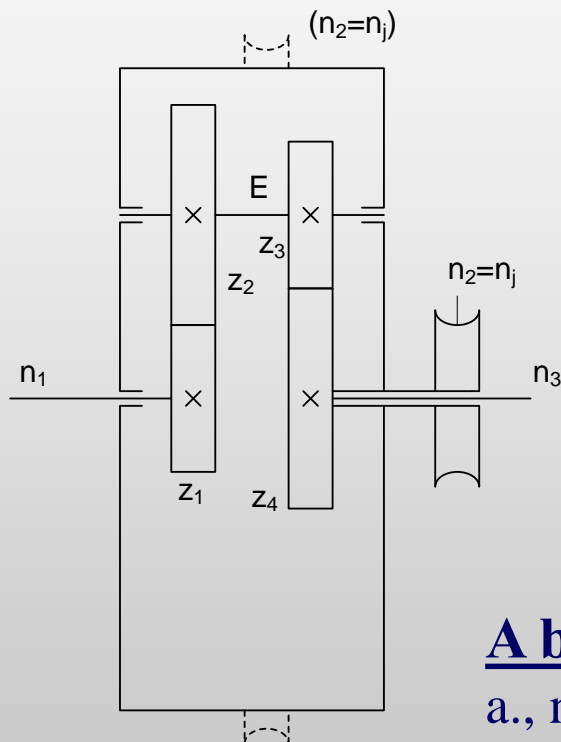
Esetenként variálható megoldások.



63. ábra: Egyszerű **kb**
bolygómű

- a: Napkerék (sun)
- b: Bolygókerekek (planet.)
- c: Bolygók. hordozó kar
(planetary carrier)
- d: Gyűrűkerék (ring)
- e: Ház (case)

„kk” típusú, hengeres fogaskerekes bolygómű (64. ábra)



n_1	$n_2=n_j$	n_E	n_3
+1	+1	+1	+1
-1	0	z_1/z_2	$-(z_1/z_2)*(z_3/z_4)$
0	1	$1+z_1/z_2$	$1-(z_1/z_2)*(z_3/z_4)$

1. sor : minden taggal +1 fordulatot közlünk
2. sor : az n_2 -vel 0, az n_1 -el -1 fordulatot közlünk
3. sor : az 1. és 2. sor összege

A bolygómű egyenlete:

a., $n_2 = n_j = 0$ -nál $n_3 = -n_1 * (-(z_1/z_2)*(z_3/z_4)) = -n_1 * (-k) = n_1 * k$

b., $n_1 = 0$ -nál $n_3 = n_2 * (1 - (z_1/z_2)*(z_3/z_4)) = n_2 * (1 - k)$

c., $n_1 \neq 0; n_2 \neq 0$ -nál $\underline{n_3 = n_1 * k + n_2 * (1 - k)}$

64. ábra: „kk” típusú bolygómű példa

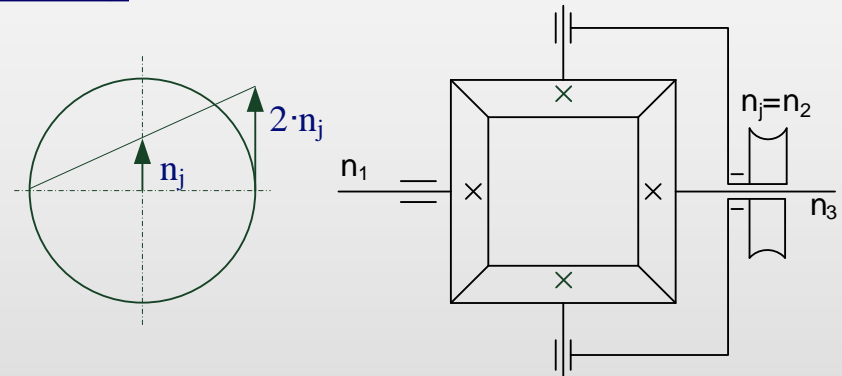
Kúpkeres bolygómű - A (65. ábra)

Ha $n_2=n_j=0$, akkor $n_3=-n_1$
azaz a belső hajtóviszony $k=-1$

Ha $n_1=0$, akkor $n_3=2 \cdot n_2$

Ha $n_1 \neq 0$ és $n_2 \neq 0$, akkor $n_3=2 \cdot n_2 - n_1$

azaz $n_j=n_2= (n_1+n_3)/2$



65. ábra: Kúpkeres bolygómű

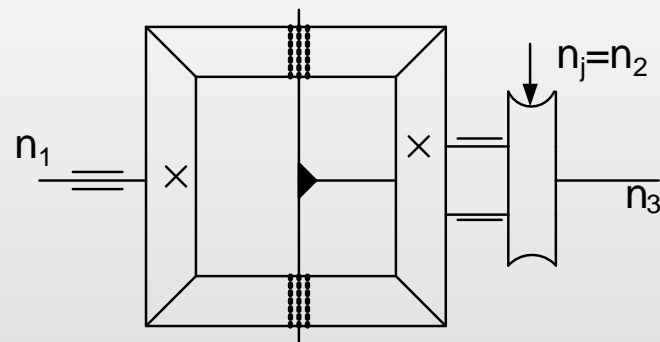
n_1	n_2	n_3
+1	+1	+1
-1	0	+1
0	1	2

Kúpkeres bolygómű - B (66. ábra)

Ha $n_2 = n_j = 0$, akkor $n_3 = 1/2 \cdot n_1$

Ha $n_1 = 0$, akkor $n_3 = 1/2 \cdot n_2$

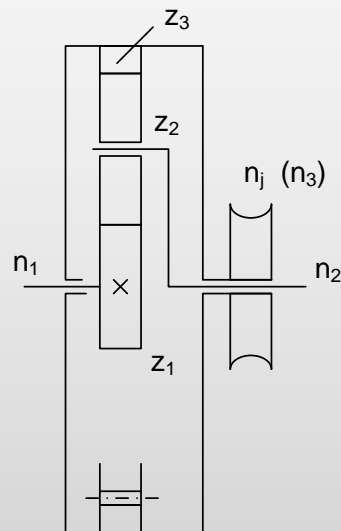
Ha $n_1 \neq 0$ és $n_2 \neq 0$, akkor $n_3 = 1/2 \cdot n_2 + 1/2 \cdot n_1$ 66. ábra: Kúpkeres bolygómű



azaz $n_3 = (n_1 + n_2)/2$

n_1	$n_j = n_2$	n_3
+1	+1	+1
-1	0	-1/2
0	1	1/2

„kb” típusú fogaskerekes bolygómű (67. ábra): Pl. akkus csavarozóban



n_1	n_2	n_j
+1	+1	+1
-1	0	$+(z_1/z_2)*(z_2/z_3)=+ z_1/z_3$
0	1	$1+ z_1/z_3$

a., $n_2=0$, akkor $n_j=(-n_1)(z_1/z_3)$

b., $n_1=0$, akkor $n_j=n_2(1+z_1/z_3)$

67. ábra: „kb” típusú bolygómű
c., $n_2 \neq 0, n_1 \neq 0$, akkor $n_j = -n_1(z_1/z_3) + n_2(1+z_1/z_3), n_j = n_3 = 0$

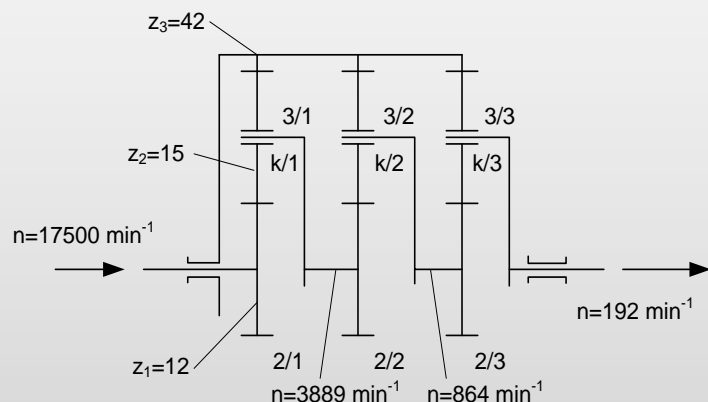
Példa: $z_1=12, z_2=15, z_3=42, n_1=17500$ f/min

Ha $n_3=0$, akkor $n_2 = n_1 \cdot z_1 / (z_1 + z_3)$, azaz $n_2 = 17500 \cdot 12 / (12 + 42) = 3889$ f/min, ahol

$k = z_1 / (z_1 + z_3) = 12 / (12 + 42) = 1/4,5 = 1/i, i = 4,5$, másként

$i = 2(1 + z_2/z_1) = 2(1 + 15/12) = 4,5$.

3 db sorbakapcsolt „kb” típusú bolygómű (68. ábra) Pl. akkus csavarozó gépekben

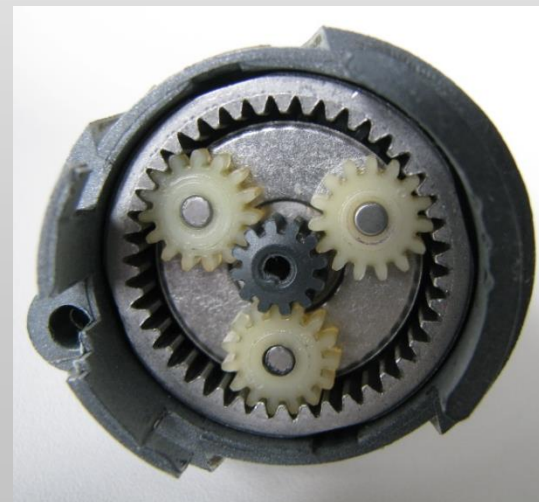
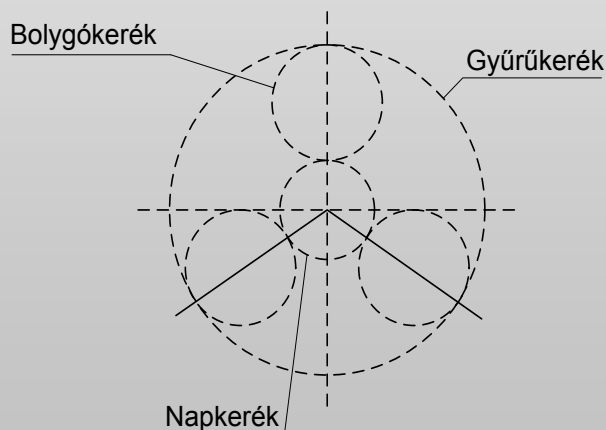


3 db. sorba kapcsolt **kb** típusú bolygóműnél az eredő hajtóviszony:

$$k=1/4,5 \cdot 1/4,5 \cdot 1/4,5=1/91,125,$$

azaz

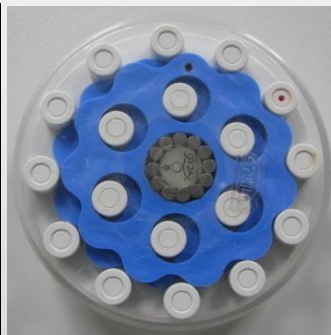
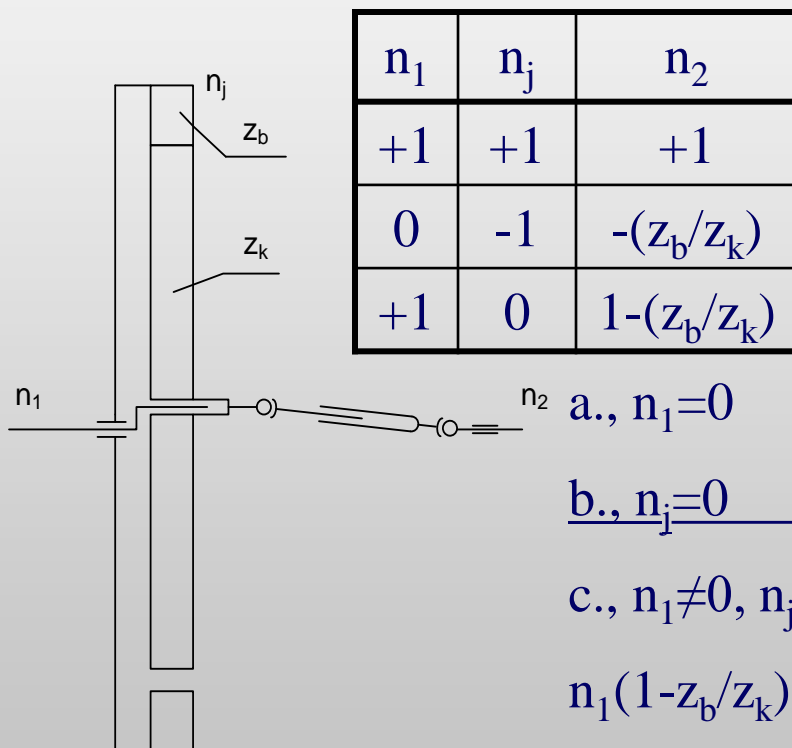
$$i=91,125.$$



68. ábra: Sorba kapcsolt **kb** típusú bolygóművek és egy kiviteli példa (Bosch)

„b” típusú differenciálművek: Ciklois hajtómű (69. ábra)

Alkalmazás pl. robotokban, szállító berendezésekben.



(Cyclo Getriebe)

Lorenz Braren GmbH.

a., $n_1=0$

$$n_2 = n_j(z_b/z_k)$$

b., $n_j=0$

$$n_2 = n_1(1 - z_b/z_k) = n_1(1 - k)$$

c., $n_1 \neq 0, n_j \neq 0$

$$n_2 = n_1(z_b/z_k) + n_1(1 - z_b/z_k)$$

$$n_1(1 - z_b/z_k) + n_1(z_b/z_k) - n_2 = 0$$

Ciklois hajtóműnél: $z_b = z_k + 1$, azaz $z_k - z_b = -1$
és $n_j = 0$, azaz $n_2 = n_1(z_k - z_b)/z_k = n_1(-1/z_k)$

69. ábra: Ciklos bolygómu
(Fenn példák)

Hullámhajtóművek (70. ábra)

A hullámhajtóművek (Harmonic Drive) nagy lassítású excenteres bolygóművek, amelyeket pl. robotcsuklóknál, manipulátoroknál, gépészeti berendezéseknél használnak. A hajtómű rugalmas fogaskerekei kis modulú evolvens fogazatok. A hajtás kettős excenteres, ezért a hajtómű álló és gördülő fogazatának száma 2-vel különbözik. Kivétel: fazék és tárcsa alak. Megjegyzés: Az első holdjáró kerekeinek meghajtása is hullámhajtóművekkel történt.

A hajtómű egyenlete: $n_{ki} = -n_{be} \cdot 2/z_1 - 2$. $k = n_{ki}/n_{be} = -2/z_1 - 2$.

Például, ha: $z_1 = 202$, $k = -2/202 - 2 = -2/200 = -0.01$.

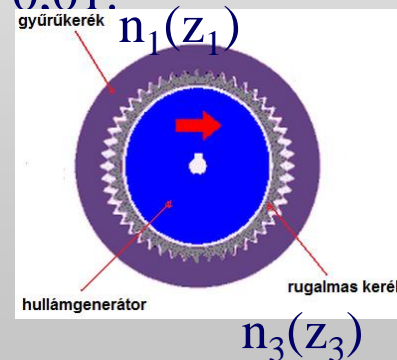
Részletezve: ha $n_1 = 0$, akkor

$$\underline{n_3 = n_2(1-k)} = n_2(1 - z_3/z_1) = n_2(1 - z_3/z_3 \pm 2) =$$

$$= n_2[(z_3 \pm 2 - z_3)/z_3 \pm 2] = \pm n_2(2/z_3 \pm 2),$$

$$\underline{n_3 = 2 \cdot n_2/z_1 + 2}, \quad \underline{n_3 = -2 \cdot n_2/z_1 - 2}$$

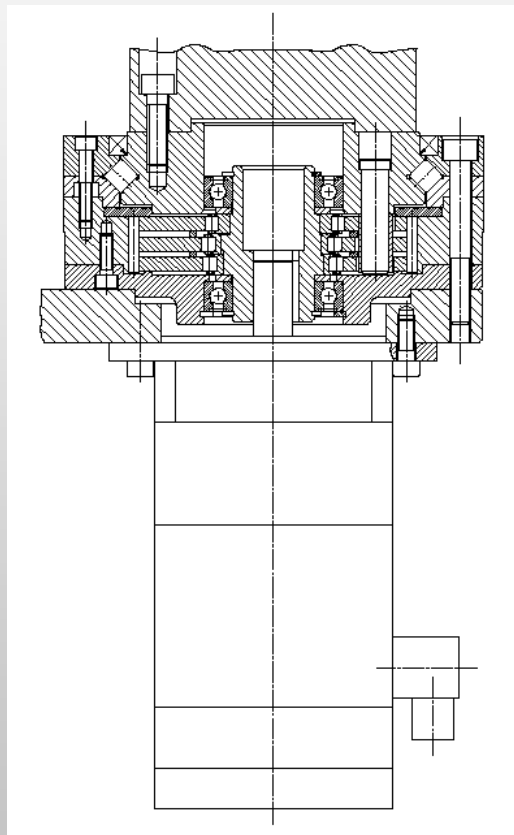
Pl.: $z_1 = 162$ -nél, $n_3 = -2 \cdot n_2/162 - 2 =$
 $= -n_2 \cdot 1/80 \rightarrow k = 1/80$.



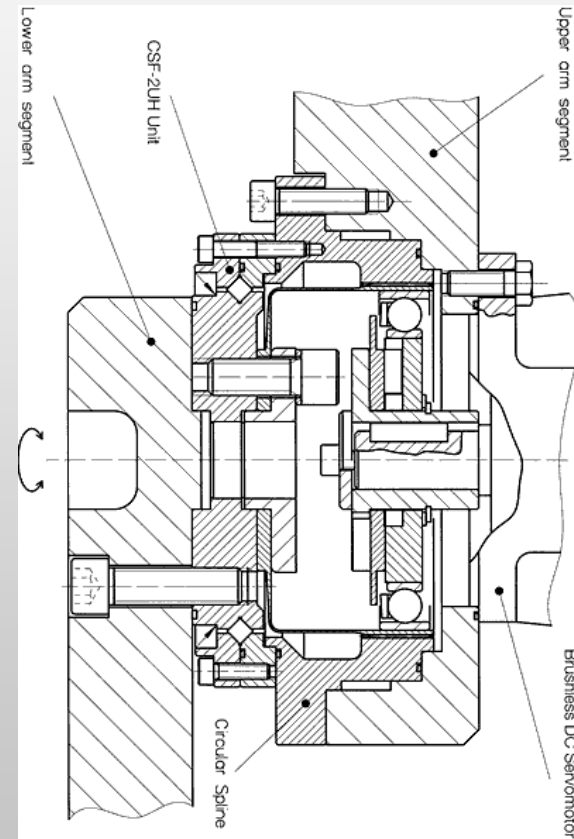
Hullámhajtómű
modell

n_2 70. ábra: Hullámhajtómű
<http://www.harmonicdrive.de>
 (Wikipedia)

Bolygóművek alkalmazása robotcsuklók mozgására



Cyclo Getriebe



Harmonic Drive

71. ábra: Ciklois hajtómű és hullámhajtómű alkalmazása robotcsuklókban



Összefoglalás

- Az oktatott tananyag megértése, számonkérése. Témajegyzék az anyag végén.
- Gyakorlati tréningek módjai: példák keresése és bemutatása a különböző szakmai területekről.

További információk

- „Actuator és Aktor” címszó alatt az interneten több százezer cím található. Ezekben igen széleskörű mechatronikai oktatási anyagok, irodalmak, cikkek, alkalmazások és gyártmányismertetőik találhatóak.
- Könyvek részben elektronikus keresés nyomán, részben a megadott irodalomjegyzék alapján szerezhetők be.



Az anyag elsajátítását segítő témajegyzék 1.

1. Az aktuátorok elhelyezkedése a mechatronikai rendszerben
2. Az aktuátorok fogalma
3. A mozgásinformáció leképzés
4. Relatív és elemi mozgások, szánok
5. A forgó mozgások előnye
6. Cikloisok, evolvensek
7. Az építőszekrény elv, Struktúrák képzése
8. Paraméterváltozatok képzése, geometriai sorok képzése, összefüggés
9. Szerszámgép modell
10. Tartóelemek anyaga, tulajdonságaik
11. Teljesítményhajtások és tulajdonságaik
12. Kinematikai hajtások és tulajdonságaik
13. A teljesítményhajtások és a kinematikai hajtások összefüggése, példák
14. Főorsók funkciói, típusai, jellemzés
15. Főorsó csapágyazási módok, alkalmazások gördülő cs.-ok mérőszámai
16. Energiaátalakítók, energiatípusok, teljesítmény összefüggések
17. Mechanikai aktuátorok fő típusai



Az anyag elsajátítását segítő témajegyzék 2.

18. **Forgó-forgó** mozgásátalakítók
19. Fogaskerekes hajtóművek, hézagtalanítás
20. Precíziós tengely-agy kötések
21. Erő és alakzáró szíjhajtások fő típusai, jellegzetességek
22. **Forgó-haladó** mozgásátalakítók fő típusai, jellemzésük
23. Hézagmentes és kishézagú orsó-anya megoldások (csúszó, gördülő)
24. Menetes orsók átviteli tényezője levezetéssel
25. Motorok statikus és dinamikus nyomatékának meghatározása
26. NC menetvágás kinematikája (EKL), számítása
27. **Haladó-forgó, haladó-haladó** mozgásátalakítók
28. Villamos motorok alapvető típusai, a kétmágnes elv
29. Szabályozott elektromechanikus hajtás funkcióvázlata
30. Villamos gépek hajtási negyedei
31. Villamos motorok teljesítmény- és nyomaték határdiagramjai
32. Egyenáramú gépek -állandó mágneses -elektronikus kommutációjú
33. Szinkron gépek és típusai



Az anyag elsajátítását segítő témajegyzék 3.

33. Aszinkron gépek, frekvenciaváltós hajtásmegoldások
34. Léptetőmotorok
35. Direkt hajtások
36. Motorok kiválasztása
37. Motorok üzemmódjai
38. Villamos készülékek, elektromágnesek, relék, tengelykapcsolók, stb.
39. Új típusú elektromechanikus aktuátorok (pl. piezotechnika)
40. Bolygó hajtóművek
41. Bolygó hajtóművek kinematikája és kinematikai egyenletei
42. Az akkus csavarozó gépekbe épített bolygómű kinematikája, egyenlete.



Irodalom

- [1] Baumüller: *Dokumentation LSE – Baureihe Version 1*
- [2] W. Bolton: *Mechatronics, Electronic control systems in mechanical Engineering*
- [3] B. Bork: *Linear-Direktantriebe in Werkzeugmaschinen*, Darmstadt, Hua Gao Werkstatt und Betrieb, Band 131 (1998) H. 7-8, S. 654-663
- [4] D.A. Bradley – D. Dawson - N.C. Burd – A.J. Loader: *Mechatronics*, Chapman & Hall
- [5] Devdas – Richard: *Mechatronic System Design*, PWS Publishing Company Boston, 1997
- [6] Excel-Csepel Szerszámgyártó Kft.: *Dokumentációk*
- [7] Bosch Rexroth: *Pneumatika*
- [8] Halász, S.-Hunyár, M.-Schmidt, I.: *Automatizált villamos hajtások II*: Műegy. Kiadó, 1999
- [9] B. Heinmann – W. Gerth _ K. Popp: *Mechatronik (Komponenten-MethodenBeispiele)*, Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag 1998
- [10] G. Henneberger: *Linearantriebe für den industriellen Einsatz*, Stand der Technik, Entwicklungstendenzen. Aachen Internationale ETG-Tage 1999, Band 79, Seite 439-
- [11] R. Isermann: *Mechatronische Systeme-Grundlagen*, Springer Verlag Berlin Heidelb, 1999
- [12] Ipsits I.: *Villamos automatikaelemek*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- [13] Robert H. Bishop: *The Mechatronics Handbook*, CRC Press LLC 2002
- [14] Juhász P.: *Lineáris motorok*, Komplex tervezési feladat, Miskolc 2002



- [15] Má dai, F.: *Villamos hajtások*, Oktatási segédlet, Kézirat, Miskolc 1999
- [16] Má dai, F.: *Egyenáramú és aszinkron motoros négynegyedes hajtás vizsgálata*, Miskolc 1995
- [17] G. Pritschow: *Linearmotor oder Kugelgewindetrieb* Stuttgart J. Bretschneider VDI-Zeitschrift Special, (2000) Heft 2, Seite 26-29
- [18] W. Roddeck: *Einführung in die Mechatronik*, Teubner Stuttgart, 1997
- [19] Siemens AG.: *SIMODRIVE Projektierungsanleitung Lineamotor (1FN1, 1FN3)*
- [20] Stefányi I. – Szandtner K.: *Villamos kapcsolókészülékek*, Tankönyvkiadó, Bp. 1991
- [21] Szemerey Z.: *Kisfeszültségű kapcsolókészülékek*, Műszaki könyvkiadó, 1990
- [22] Tajnafői, J.: *Szerszámgéptervezés II. Kézirat*, Kézirat, Tankönyvkiadó, Bp., 1990
- [23] G. Vizi – E. Jakab: *Latest Results in the Machining of Epicycloidal Gearing*, Wesic, M., 2003
- [24] Vágó Ivánné: *Elektrotechnika*, GAMF Kecskemét 1987
- [25] Weck, M.: *Werkzeugmaschinen Fertigungssystemen Band 2*. VDI-Verlag GmbH, 1991
- [26] Ilene J. Busch – Vishniac: *Elektromechanical Sensors and Actuators*, Springer 1998
- [27] www.ipi.uni-hannover.de/html/lehre...lomarbeiten/1999/geisler.jens/aktoren
- [28] Gyártók katalógusai, más egyetemek elérhető elektronikus oktatási tananyagai
- [29] Dr. Kodácsy J.-Dr. Pintér J.: *Szerszámgépek és gyártórendszerek* (Tankönyvtár)
- [30] Dr. Szénásy István *Szenzorok és aktuátorok* (TAMOP 4.2.5 - 2011), (Tankönyvtár)
- [31] Wikipedia