

ROBOTTECHNIKA

Ipari robotok hajtása

4. előadás



Dr. Pintér József

Ipari robotok hajtása

Robot hajtások a robotok, illetve azok egységei ("izületei") mozgását teszik lehetővé.

Az irányítás hatáslánca alapján lehet:

- **Zárt, vagy**
- **Nyitott**

A visszacsatolás jellegétől függően:

- ❖ **Pontvezérlés (point to point = PPT control)**
- ❖ **Pályavezérlés (continuous path = CP control)**

Ipari robotok hajtása

A robot egymáshoz képest elmozduló egységeit tengelyeknek nevezik.

Minden robot tengelynek külön hajtása van, ennek elemei:

➤ Motor/tápegység, hajtómű, mozgás átalakító, vezérlő/szabályozó egység.



Megjegyzés:

A megfogó szerkezeteknek általában szintén külön hajtásláncuk van.

Ipari robotok hajtása

Energia ellátás szempontjából
megkülönböztetnek:

- ❖ Pneumatikus,
- ❖ Hidraulikus,
- ❖ Villamos hajtáslánc rendszereket (ezek kombinációja is gyakori!)

Értékelésük robottechnikai szempontból:

HAJTÁSOK ÉRTÉKELÉSE TELJESÍTMÉNY/TÖMEG SZERINT			
	Villamos	Pneumatikus	Hidraulikus
P/m (kW/kg)	0,02...0,1	0,2...0,3	0,6...0,8

Ipari robotok hajtása

Pneumatikus hajtások

A hajtóelemek sebesség szabályozása, pozicionálása elektromágnesen **fékkel** történik.

Előnyök:

- préslevegő hálózat általában adott
- kedvező telj./súly arány
- kevés karbantartást igényel
- robbanásbiztos
- olcsóbb (hidraulikus hengerekhez viszonyítva)
- hosszú élettartam
- vezetékek kis helyet foglalnak
- nem kell visszavezetés a tápegységbe

Ipari robotok hajtása

Pneumatikus hajtások hátrányai

- ❖ korlátozott erő/nyomaték
- ❖ jelentős zaj
- ❖ nagy fékkopás
- ❖ kis pozícionálási pontosság
- ❖ szabványos munkahengerek csak két véghelyzetben tudnak megállni
- ❖ nyomásveszteség



Ipari robotok hajtása

Pneumatikus hajtások

Minden mozgástengely rögzítésére külön féket kell beépíteni!

➤ Elsődleges feladat: a karok, csuklók rögzítése a súlyerő ellenében.

➤ Vészleállások esetén: azonnali mozgásleállítás, karrögzítés!

Munkahenger állíthatósága:

fojtó visszacsapó szeleppel (egyik irányba fojt)

Vezérlő csavar



Ipari robotok hajtása

Pneumatikus hajtások

A pneumatikus hengerek önmagukban pontos pozícionálásra nem képesek, de **lineáris útmérővel** ill. **elfordulásmérővel** kiegészítve olcsó, kis karbantartásigényű hajtások épültek belőlük.



Munkahengereket a világon számtalan cég gyárt, szinte minden méretben, széles nyomatékskálán, kedvező áron beszerezhetők. 🖱️ Háttérbe szorulnak.

Ipari robotok hajtása

Hidraulikus hajtások

Mind egyenes vonalú, mind forgó mozgást lehet létesíteni hidraulikus hajtóművel.

Előnyök:

- ❖ nagy erő kifejtésre képes
- ❖ telj./súly aránya a legkedvezőbb,
- ❖ fokozat nélküli sebességszabályozást biztosít
- ❖ rögzítő féket nem igényel,
- ❖ a hidraulika olaj összenyomhatatlan

Ipari robotok hajtása

❖ Üzemi nyomás akár 200 bar is lehet  nagy teherbírású robotoknál használják elsősorban

Hidraulikus hajtások



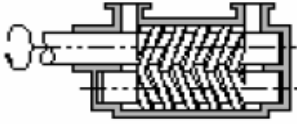

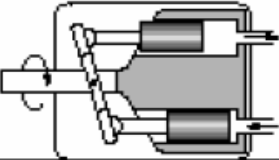

Hátrányok:

- ❖ hidraulikus tápegység szükséges,
- ❖ hőmérsékletfüggő pozicionálási pontosság,
- ❖ jelentős zaj
- ❖ (gyakran "tömítetlenség!?)")
- ❖ robbanás- tűzveszély

Ipari robotok hajtása

Hidraulikus hajtások

Hidraulikus szivattyú fajták

	Építési mód	Ford.sz. Tartomány	Munkatérf.	Névleges nyomás	Összhatás-fok
	Bauarten	Drehzahlbereich $\frac{1}{\text{min}}$	Verdrängungsvolumen (cm ³)	Nenndruck (bar)	Gesamtwirkungsgrad
	Külső fogaske-rekes	500 - 3500	1,2 - 250	63 - 160	0,8 - 0,91
	belső fogaske-rekes	500 - 3500	4 - 250	160 - 250	0,8 - 0,91
	Cavar-szivattyú	500 - 4000	4 - 630	25 - 160	0,7 - 0,84
	Lapátos szivattyú	960 - 3000	5 - 160	100 - 160	0,8 - 0,93
	Axiáldu-gattyús - 3000	100	200	0,8 - 0,92
		750 - 3000	25 - 800	160 - 250	0,82 - 0,92
		750 - 3000	25 - 800	160 - 320	0,8 - 0,92
	Radiáldu-gattyús	960 - 3000	5 - 160	160 - 320	0,90

Ipari robotok hajtása

Hidraulikus hajtások

A szivattyú és a motor folyadékigényének összehangolására három módszer használatos:

- ❖ Változtatható fordulatszámú elektromotor (például egyenáramú szervomotor) alkalmazása (gazdasági szempontból nem versenyképes megoldás).
- ❖ A felesleges folyadék visszavezetése a tápegység tartályába a fogyasztóval párhuzamos ágon elhelyezett túlfolyó- és nyomáshatároló szelepen keresztül.

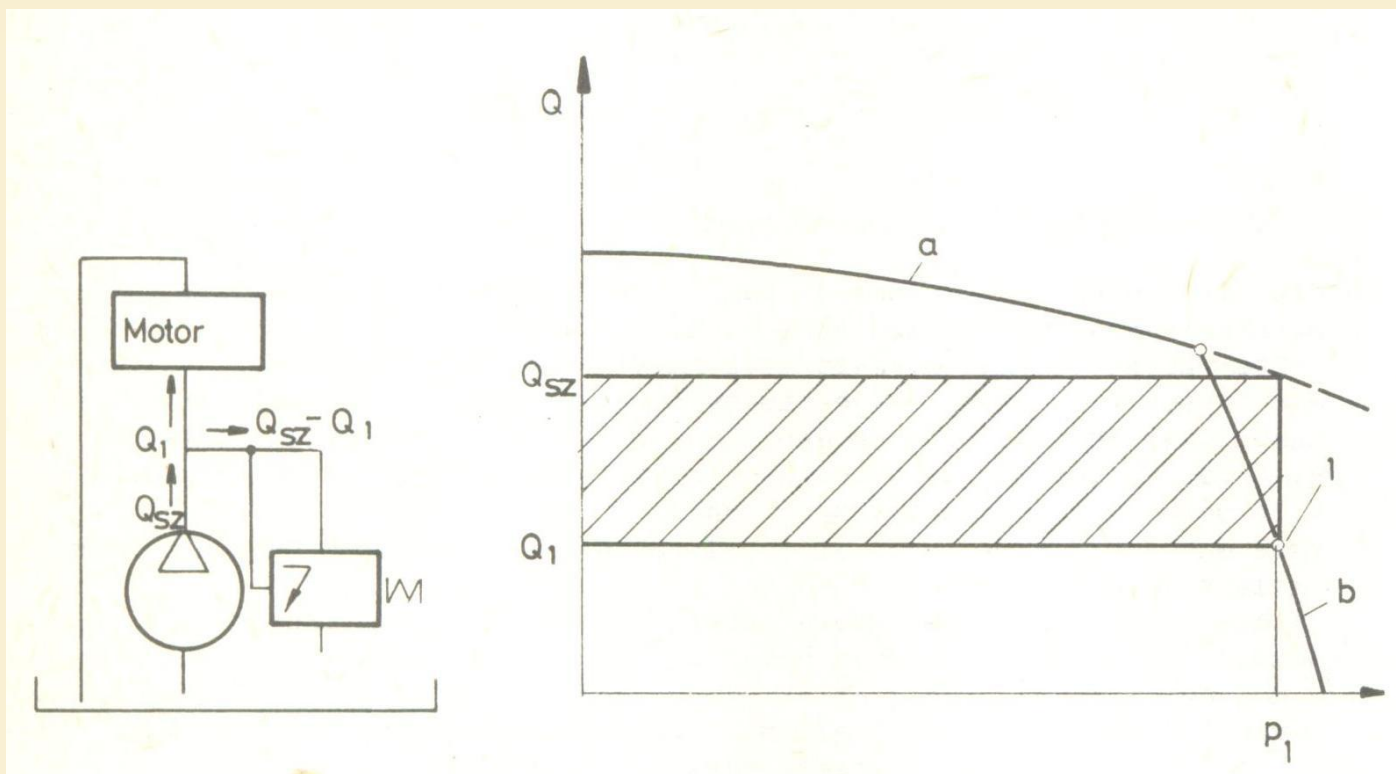
(lásd következő dia ábráját!)

- ❖ A szivattyú szállításának (térfogatáramának) szabályozása a folyadékigény alapján. Erre a feladatra axiáldugattyús vagy lapátos – változtatható térfogatáramú önszabályozó - szivattyúkat alkalmaznak.

Ipari robotok hajtása

Hidraulikus hajtások

Az ábra a hidraulikus kapcsolás vázlatát és az energiaviszonyokat is tükröző $p = Q$ jelleggörbét szemlélteti.

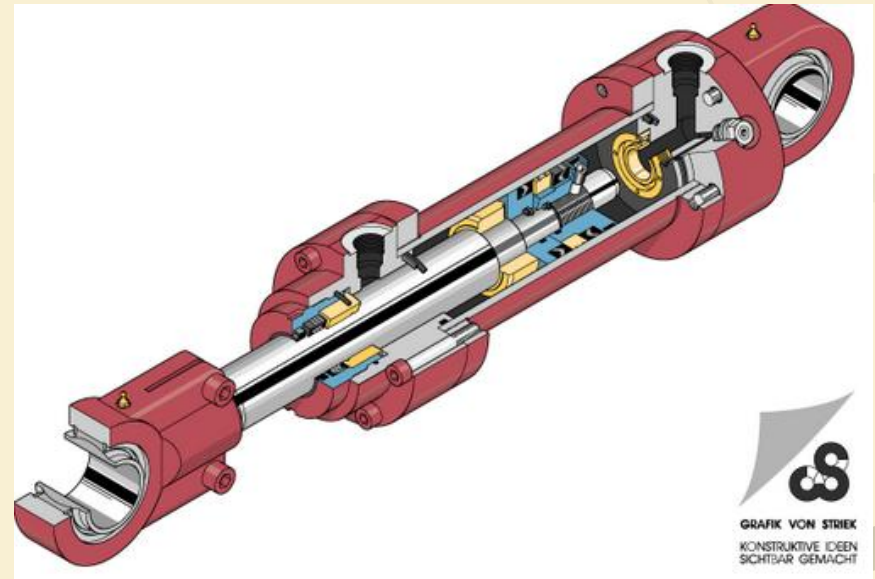


Hidraulikus hajtás nyomáshatároló szeleppel

Ipari robotok hajtása

Hidraulikus hajtások

A leggyakrabban használatos hidraulikus motor a **hidraulikus henger**. Fontos előnye a kis szerkezeti méret. Merevsége a mechanikus szerkezetekhez (például a golyósorsó-anya kapcsolathoz) képest nagyságrenddel kedvezőtlenebb.



Hidraulikus hengerek felépítése

Ipari robotok hajtása

Hidraulikus hajtások

A robot előírt program szerinti működését a hidraulikus vezérlő elemek biztosítják. Háromfontos feladatot láthatnak el, vezérelhetik:

- a munkafolyadék nyomását (lásd az előző ábra példáját is!)
- a folyadékáramlás útját (az útszelepek)
- a folyadékáramlás sebességét (a fojtószelepek)

Összefoglalóan megállapítható: az ipari robotoknál a hidraulikus hajtásokat olyan helyeken alkalmazzák, ahol nagy erők lépnek fel, jó közelítéssel azt mondhatjuk, hogy a mozgatandó tömeg meghaladja az 50 kg-ot.

A szabályozott rendszereknél lehetőség van a mozgástartományon belüli tetszőleges helyzetre való pozicionálásra. Ehhez a rendszert útmérővel kell kiegészíteni, amely általában egy egységet képez a hengerrel.

Villamos hajtások

Az ipari robotok hajtásaiban a **villamos hajtások** folyamatos térhódítása egyértelmű trend. Ennek elsődleges oka az, hogy a félvezetőgyártás fejlődése a teljesítményelektronika területén is jelentős eredményeket hozott. Napjaink ipari robotjaiban a villamos hajtások az uralkodóak.

A robotok által támasztott követelmények:

Kis súly: A motorok a karokkal együtt mozognak, fontos a tömegük. Kisebb súlyú motort könnyebb gyorsítani, lassítani, megtartani.

Nagy nyomaték: Hogy a kar a teljes terheléstartományban azonos dinamikával legyen kezelhető, a nagy nyomaték fontos. A pozícionálást is könnyíti, ha van elég nyomaték.

Villamos hajtások

A robotok által támasztott követelmények (folytatás):

Jó hűtés: Mivel sok indulást, fékezést kell a motornak teljesíteni, gyakran nagy az áramfelvétel. A termelődő hőt gyorsan le kell adni.

Széles fordulatszám-tartomány: A motorok kimenetén nagyon ritkán található állítható áttételű hajtómű (tömegcsökkentés).

Mivel a kar mozgatási sebessége tág határok között programozható, a motornak széles fordulatszám-tartományban kell stabil nyomatékot szolgáltatnia.

Villamos hajtások

Előnyei:

- könnyen hozzáférhető
- fokozat nélküli hajtást tesz lehetővé
- holtidő mentes
- egyszerű, kevés karbantartást igénylő megoldás
- zajmentes
- megbízható
- mikrovezérlővel (μP) vezérelhető

Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

Hátrányai:

- **bonyolult**
- **nagy fordulatszám (lassító áttétel szükséges)**
- **álló helyzetben nem tudnak hosszú ideig jelentős nyomatékot kifejteni**
- **külön fékeket kell alkalmazni**
- **nagy nyomatékigénynél redukáló hajtóművet kell használni**
 - ❖ **hullámhajtóművek (1/200)**
 - ❖ **csigahajtás (1/40;1/60)**

Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

A robottechnikában az **AC** motor elterjedtebb, mint a **DC** motor.

Robottechnikában alkalmazott motorok:

- ❖ **Léptető motor** (*nem bírja a túlterhelést*)
- ❖ **Egyenáramú állandó (permanens) mágnesű szervomotor**
- ❖ **Elektronikus hajtású kefe nélküli (brushless) motor**

Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások



a) Léptető motor



b) Szervo motor

Ipari robotok hajtása



Villamos hajtások

Tárcsamotorok

Robothajtásokban gyakoriak a tárcsamotorok. A forgórész vékony szigetelőtárcsa, amely műanyag vagy kerámia alapú tárcsa, és ennek homloklfelületére van ragasztva a tekercselés (rézlemezről készül). Az ilyen motorok axiális mérete meglehetősen kicsi. A vezetők radiális elhelyezése miatti jó hővezetés következtében rövid ideig igen nagy áramtúlterhelés lehetséges. A motor fordulatszámát a terhelő nyomaték és a kapocsfeszültség határozza meg.

A nyomaték ezeknél a motoroknál a fordulatszám növelésekor lineárisan csökken (konstans armatúraáramnál).

Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

Tárcsamotorok

Jellemzői:

- ❖ nincs gerjesztőtekercs, a gerjesztést permanens mágnes biztosítja
- ❖ kis forgórész-inercia, nagy szöggyorsulás
- ❖ nagy indítónyomaték.

A motor dinamikai tulajdonságai kedvezőek, de illesztése bonyolultabb, mint a léptetőmotoroké, a kommutátor és a kefe miatt kényesebbek.

Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

Léptetőmotor (steppers)



A léptetőmotor olyan, többfázisú, sokpólusú villamos motor, melynél a tekercseket adott sorrendben gerjesztve, a tengely kis szögelfordulást végez, és ott rögzítve megáll. Ezt nevezzük **lépés**nek. Ha a motort gyorsan léptetjük, szinte sima forgómozgást kapunk. Egy teljes fordulatot akár 1000 lépésre is oszthatnak.

Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

Léptetőmotor (steppers)

Főbb típusai :

- állandó mágneses
- változó reluktanciájú
- hibrid léptetőmotor

Előnyei:

- kis költség
- robosztusság
- egyszerű felépítés
- nincs karbantartás

➔ változó mágneses tér



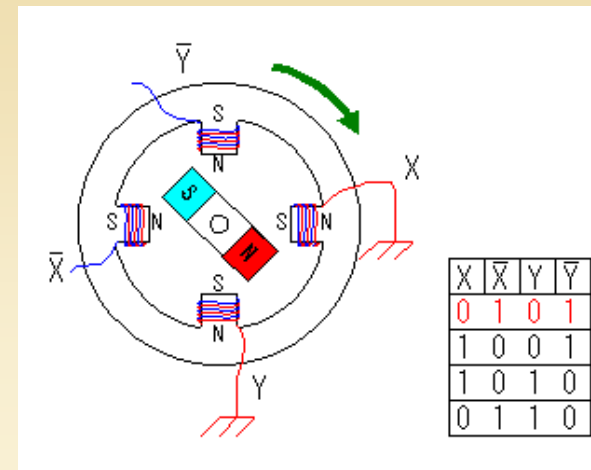
Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

Léptetőmotor

Hátrányai:

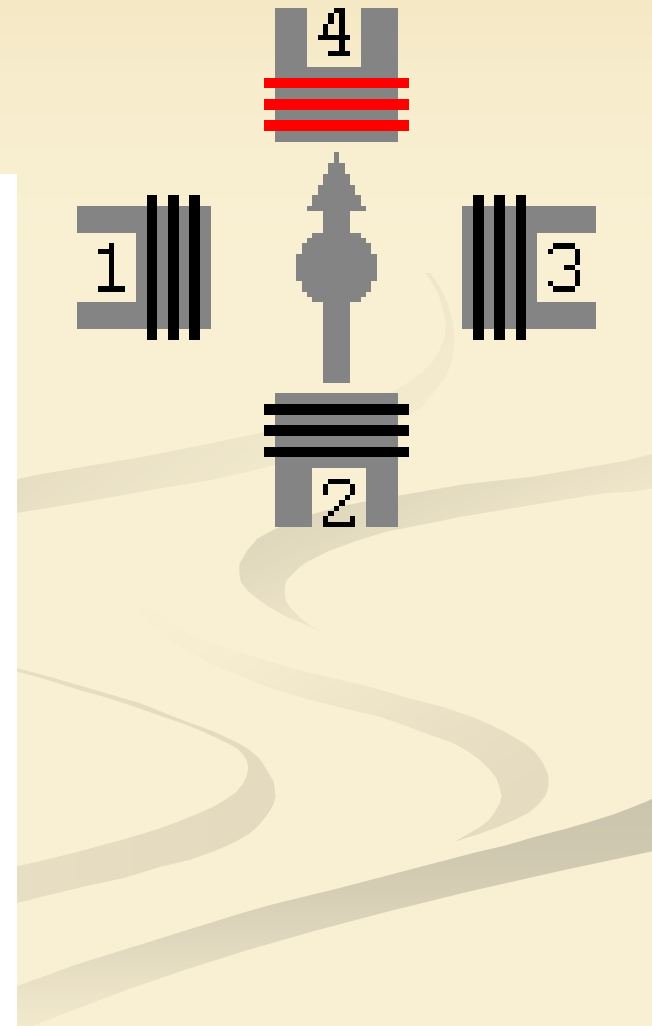
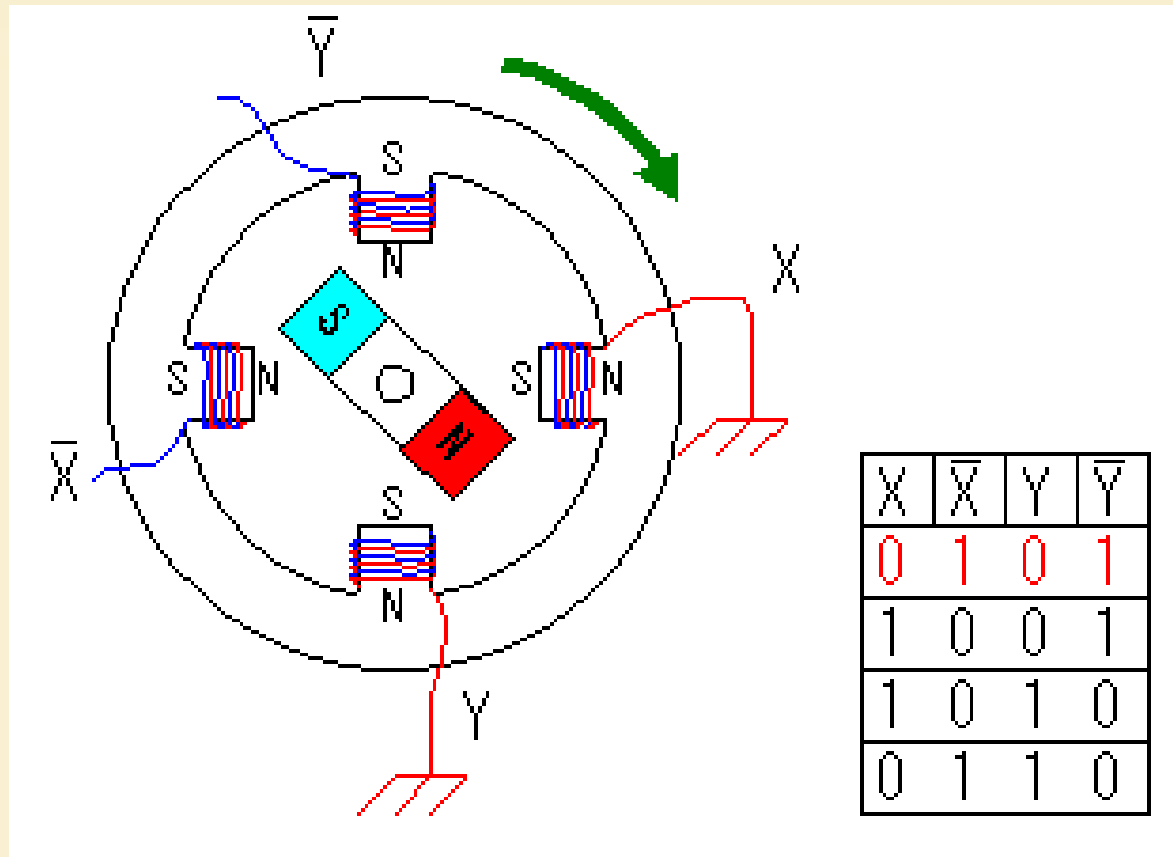
- rezonancia gerjesztő hatás hosszabb beállási idő (settling time)
- kis sebességnél durva mozgás
- túlmelegedhet
- nagyobb sebességen zajos lehet
- rezonancia-hajlama és pozícionálási hibái inerciaterhelésfüggők



Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

Léptetőmotor



Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások- szinkron szervomotor

Jellemzői:

- állandó mágneses
- szinkronmezős
- 3-fázisú
- nagy frekvenciatartományú
- $U \neq \text{áll.}$
- $f \neq \text{áll.}$
- nem eshet kis a szinkronizmusból
- bármely ω szögsebesség, α tengelyszög és nyomaték beállítható
- szöghelyzetpontosság álló tehertartásnál nagyobb, mint $0,01^\circ$

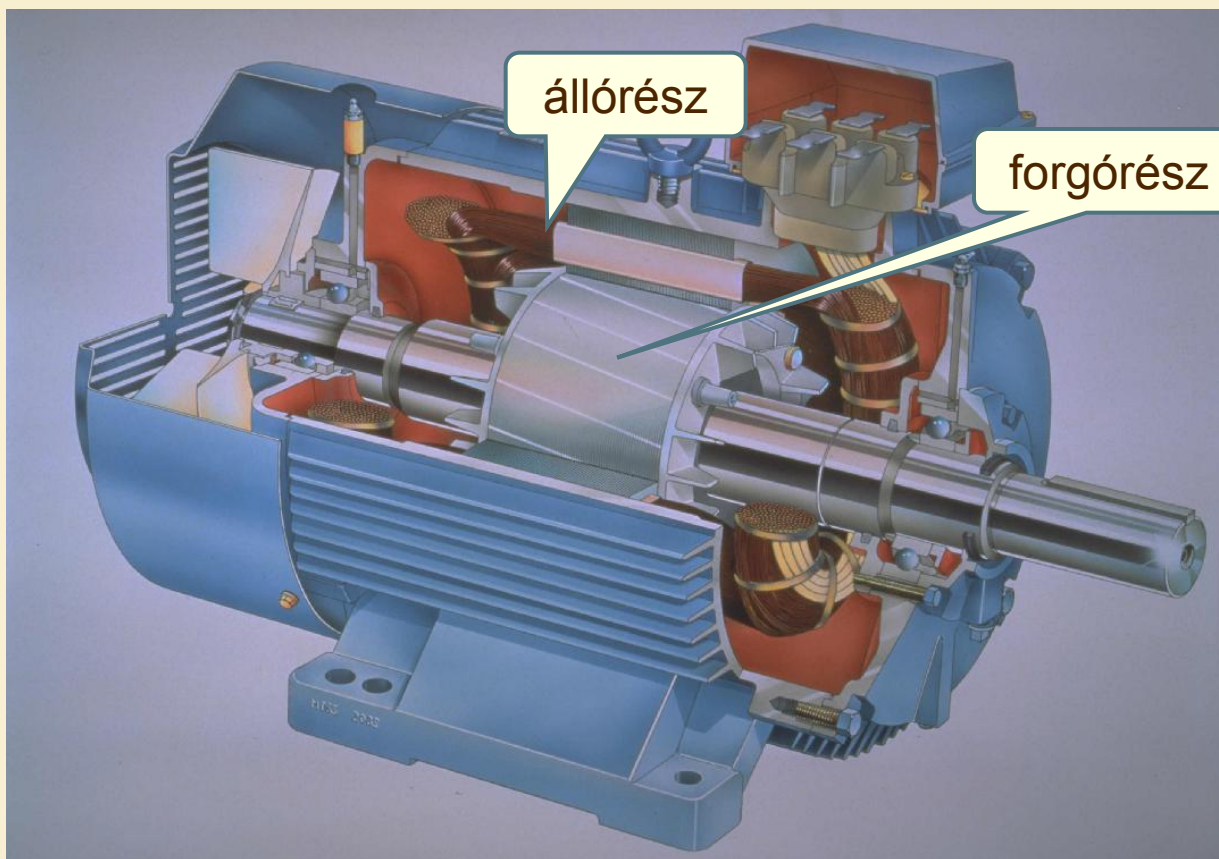


Villamos hajtások

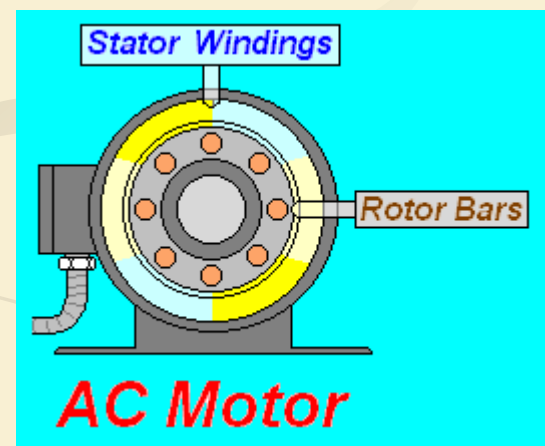
Ipari robotok hajtása

A robottechnikában az AC motor elterjedtebb, mint a DC motor.

➤ **AC (Alternate Current → váltakozó áram)**



Működése:

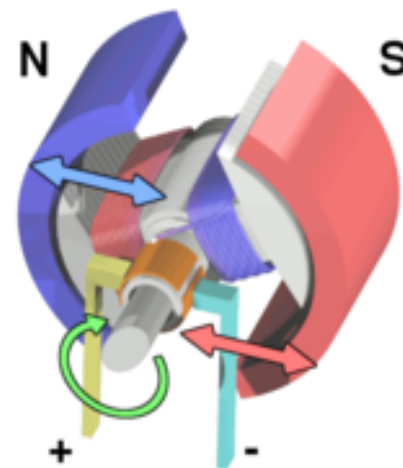
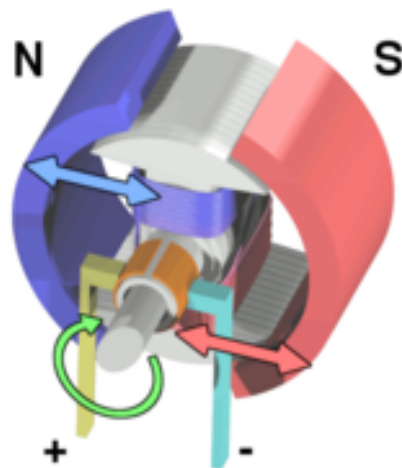
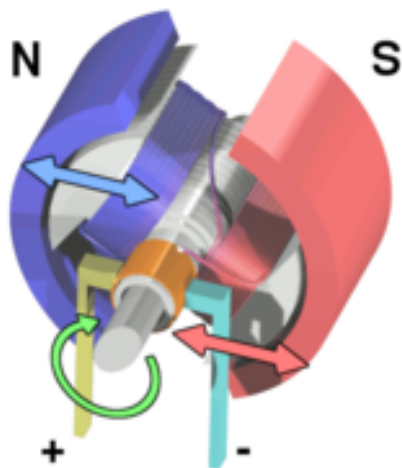


Ipari robotok hajtása

Villamos hajtások

➤ DC (Direct Current → egyenáram)

Egyenáramú motor forgása



Egyenáramú motor elvi felépítése és működése. Ha a tekercsben áram folyik, körülötte mágneses mező létesül, amely igyekszik az állórész mező irányába állni.

A forgórész a kommutátorral együtt forog, a kefék az állórészhez rögzítettek, és a kommutátor egymástól elszigetelt lemezein csúsznak.

Minden fél fordulatnál a stabil helyzet elérésekor a kommutátor megfordítja a tekercsben folyó áram irányát, így a forgás folytatódik.

Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók

A hajtóművek feladata a **mozgásátalakítás**, ennek célja kettős:

➤ **Fordulatszám illesztés**, azaz a motor nagy fordulatszámának áttanszformálása a robotkarnak megfelelő kis fordulatszámra

➤ **Nyomatékillesztés**

Ezek a mechanizmusok csoportosíthatók:

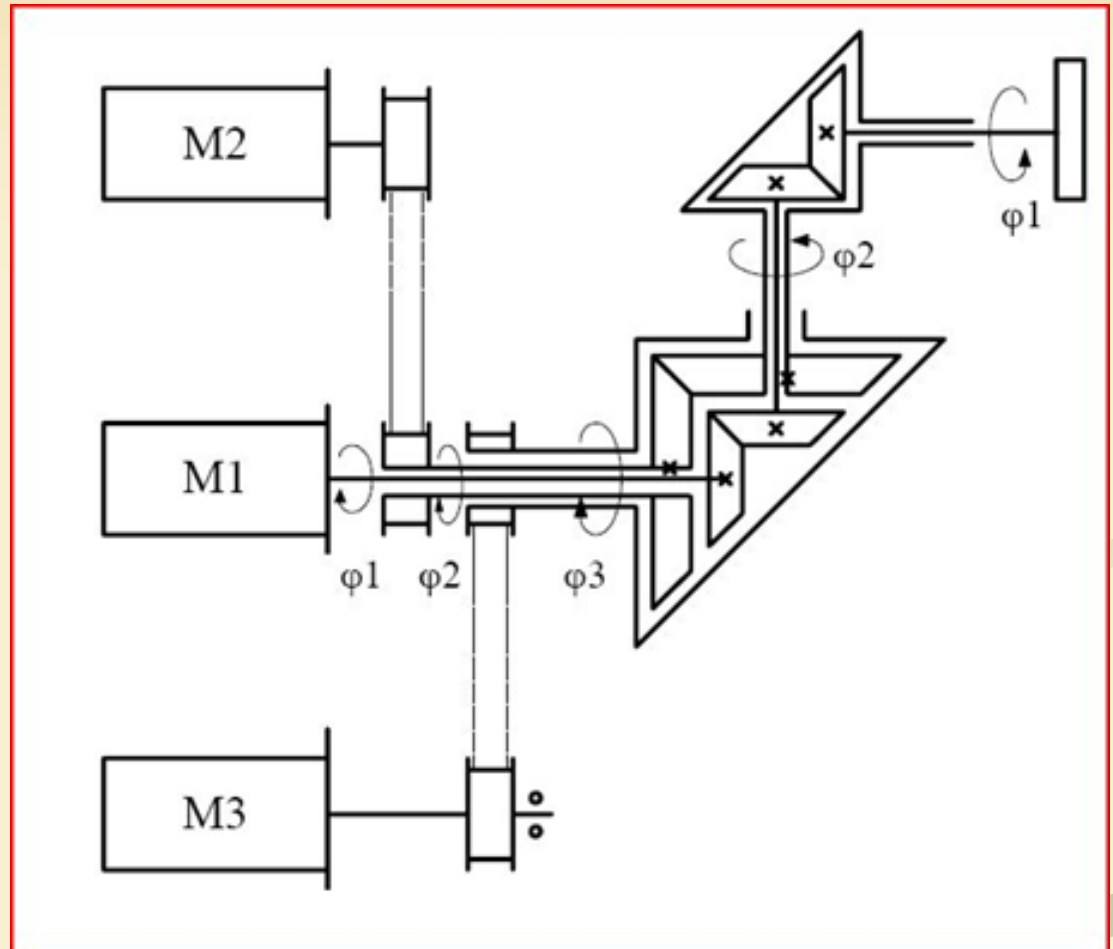
- ❖ Forgó mozgásból ➡ forgó mozgást
- ❖ Forgó mozgásból ➡ lineáris mozgást
- ❖ Lineáris mozgásból ➡ forgó mozgást
- ❖ Lineáris mozgásból ➡ lineáris mozgást.

Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók

Fogaskerekes hajtóművek (ábra)

- ❖ felépítésük egyszerű, de az egy fokozatban megvalósítható hajtóviszony kicsi,
- ❖ hatásfoka nem túl jó, és
- ❖ kicsi az elérhető pozícionálási pontosság



Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók Csigahajtóművek

- ❖ alkalmazásukkal egy fokozatban nagyobb lassítás (maximum. $1/60$) valósítható meg, mint a fogaskerékes hajtóművekkel
- ❖ hatásfokuk meglehetősen rossz,
- ❖ pontos gyártásuk nehezen valósítható meg
- ❖ beépítési helyigényük nagy.



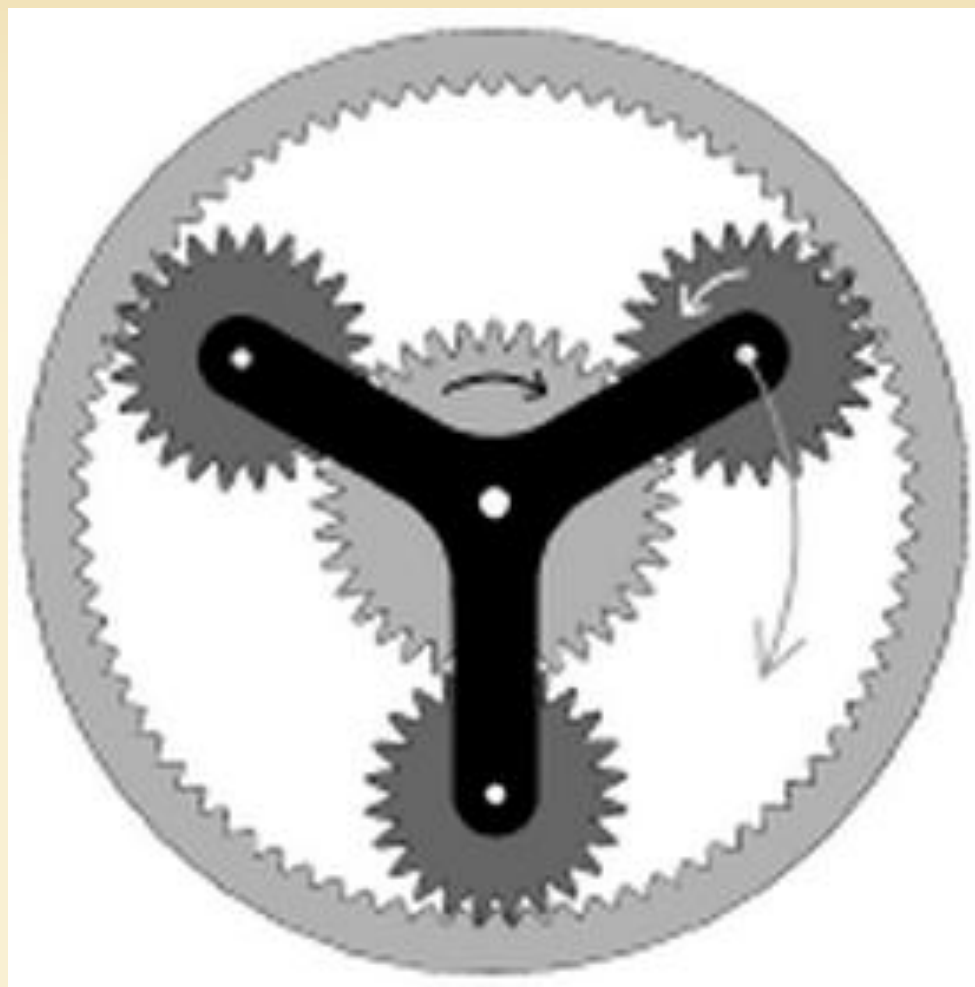
Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók

Bolygóművek

felépítésük bonyolult,
megvalósítható áttétel
legfeljebb...?

beépítési helyigényük
nagy,
hátrányaik azonosak a
fogaskerék
hajtóművekével



Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók

Forgó mozgásból ➡ forgó mozgást

Hullámhajtómű

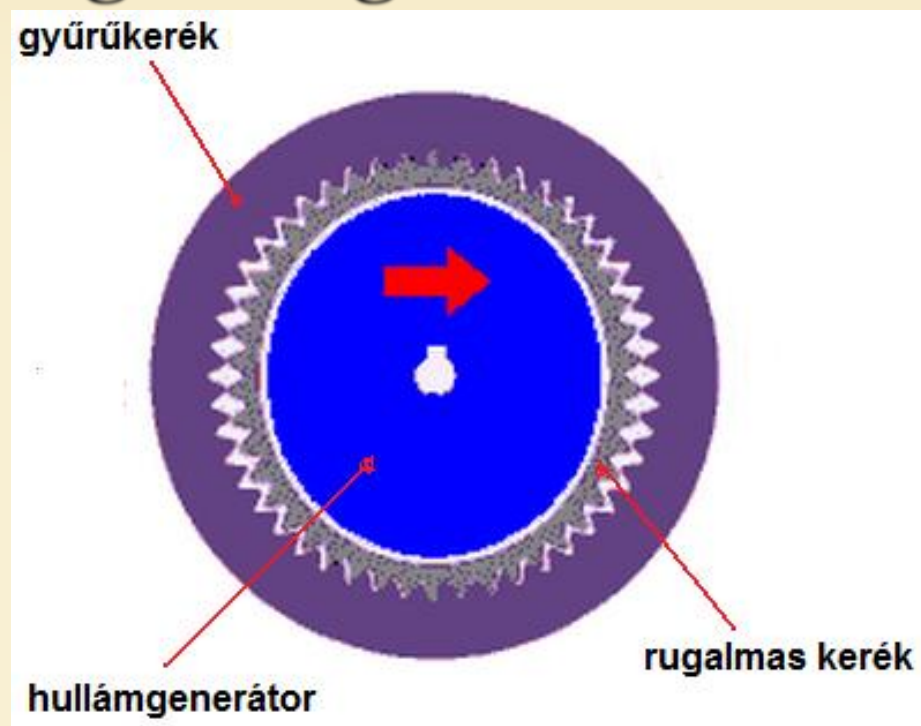
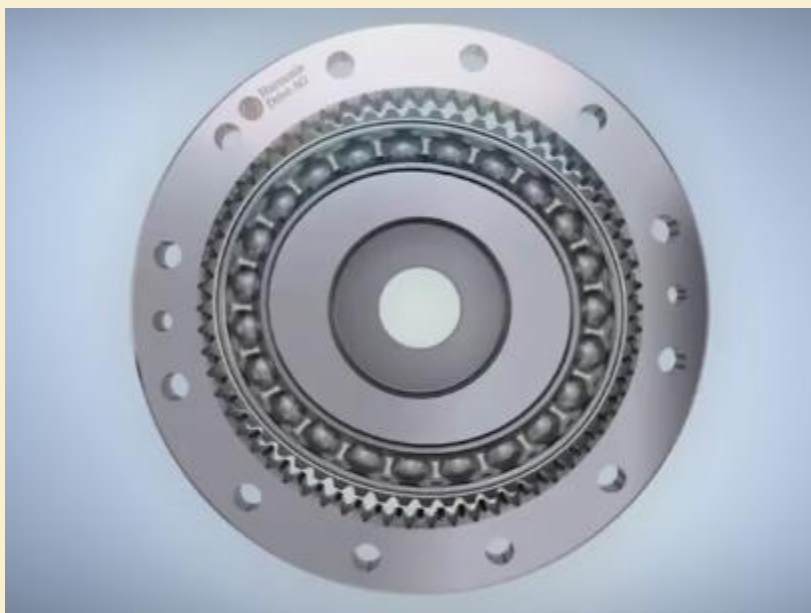
A robotkarok mozgatásánál igény, hogy kis tömegű, nagy fordulatszámú motorral mozgassunk kis fordulatszámú (szögsebességű) robotkart, mégpedig nagy nyomatékkal. Ez egy igen nagy áttételű hajtóművel megoldható lenne, de nagy méretű, nehéz fogaskerekeket nem tehetünk egy robotkarrá. A hullámhajtómű (harmonic drive) úgy valósít meg nagy áttételt, hogy tömege, mérete sokkal kisebb marad, mint egy fogaskerékpárnak vagy pároknak.

Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók

Forgó mozgásból ➡ forgó mozgást

Hullámhajtómű

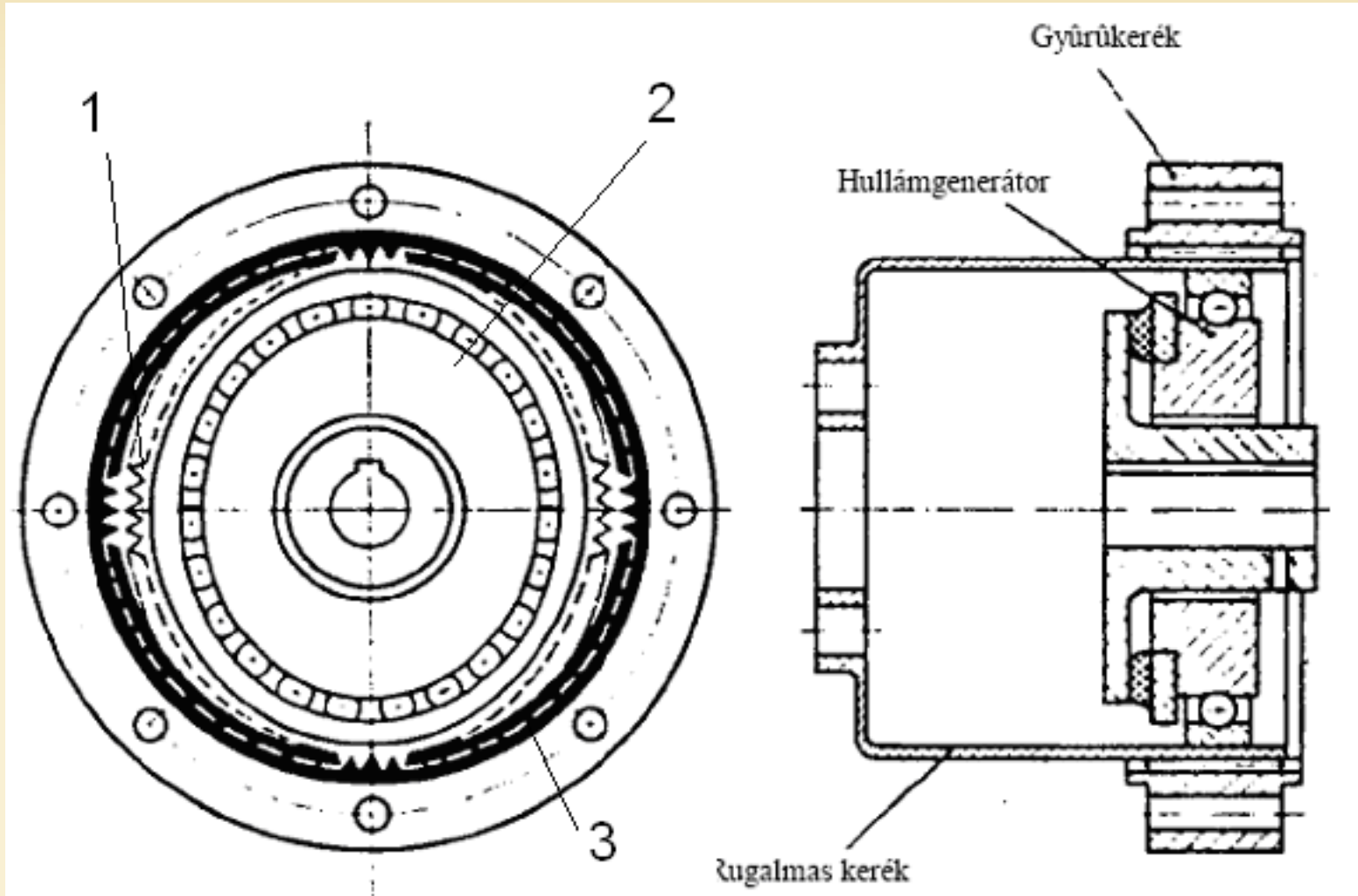


Hullámhajtómű

Ipari robotok hajtása

Kis befoglaló méretű, nagy áttételű (nagy nyomatékot előállító) hajtóművek, melyek fejlesztése a holdjárművek tervezése során valósult meg. Egy fokozatban megvalósítható áttétel igen nagy (~100-200). Hatásfoka jó, de túlterhelésre érzékeny.

C. W. Musser 1955-ben szabadalmaztatta. Egymásba helyezett, kis kerület különbséggel rendelkező elemek között, az egyik rugalmas alakváltozásával, alakkal záró (pl. fogazott hullámhajtóművek), vagy erővel záró (dörzs hullámhajtóművek) kapcsolatot hoznak létre: az elemek egymáson legördülésük közben, fordulatonként, kerület különbségüknek megfelelő szöggel fordulnak el egymáshoz képest.



A hullámhajtómű felépítése

Ipari robotok hajtása

Mozgásátalakítók

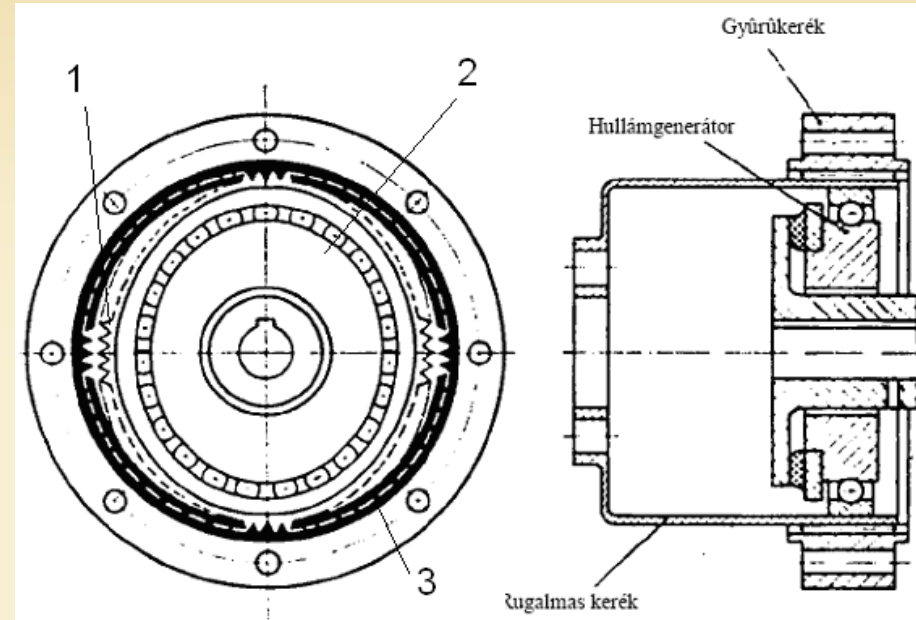
A hullámhajtómű működési elve (1):

A hullámhajtómű három fő alkatrésze:

- ❖ a hullámgenerátor (2),
- ❖ a hullámkerék (1) és
- ❖ a gyűrűkerék (3).

A működés:

A hullámgenerátort tekintjük egy ovális acéltengelynek, a hullámkereket egy gumiból készült külsőfogazású keréknek, a gyűrűkereket, pedig egy fixen rögzített acél belsőfogazású keréknek, melynek fogszáma esetünkben kettővel nagyobb, mint a hullámkeréké. A hajtómű bemenete a hullámgenerátor.

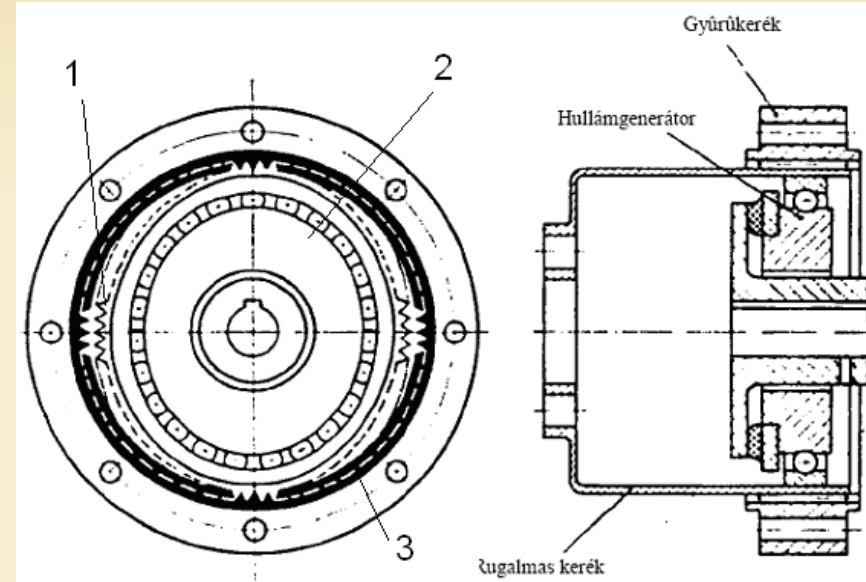


Mozgásátalakítók

A hullámhajtómű működési elve (2):

A hullámgenerátort forgatva az a hullámkerék fogait sorba „belepréseli” a gyűrűkerék fogai közé. Mivel a hullámkerék fogszáma kisebb, mint a gyűrűkeréké,

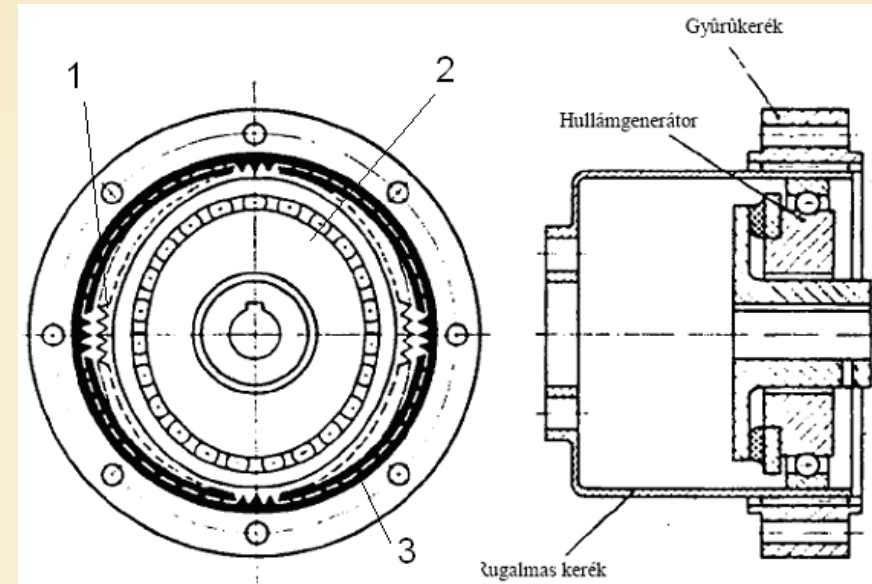
nyilvánvaló, hogy a hullámgenerátor egyszeri körbefordulásának eredményeképpen a hullámkerék annyi fognyit fordul el, amennyivel kevesebb a hullámkerék fogszáma a gyűrűkerékénél.



Mozgásátalakítók

A hullámhajtómű működési elve (3):

A hajtás kimenete a hullámkerék. Megállapítható, hogy a be- és kimenet forgásiránya ellentétes, az áttétel pedig a hullámkerék fogszámának és a fogszámkülönbségnek a függvénye.



A harmonikus hajtással a gyakorlatban maximum 1:200 áttételt szokás megvalósítani, határ a kimenő nyomaték, ami már itt is nagy, és erősen igénybe veszi a hullámkerék anyagát.

Mozgásátalakítók

A hajtás áttétele:

$$k = (z_r - z_k) / z_r$$

ahol

z_r a hullámkerék fogszáma,

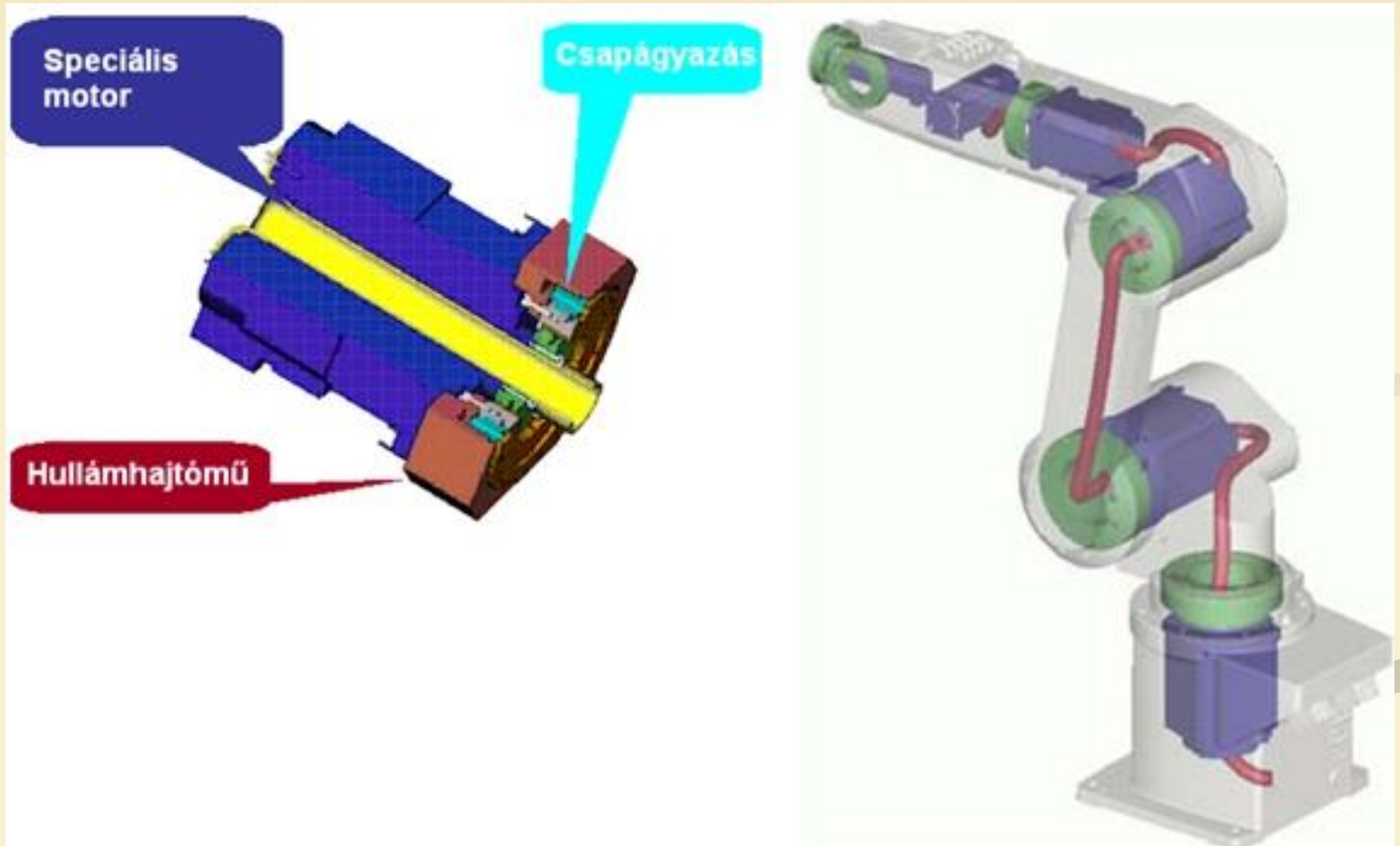
z_k a gyűrűkerék fogszáma

a $z_r - z_k$ különbség 2, vagy annak egész számú többszöröse.

Mozgásátalakítók

Ipari robotok hajtása

Hullámhajtóművek elhelyezése ipari robotban (példa)



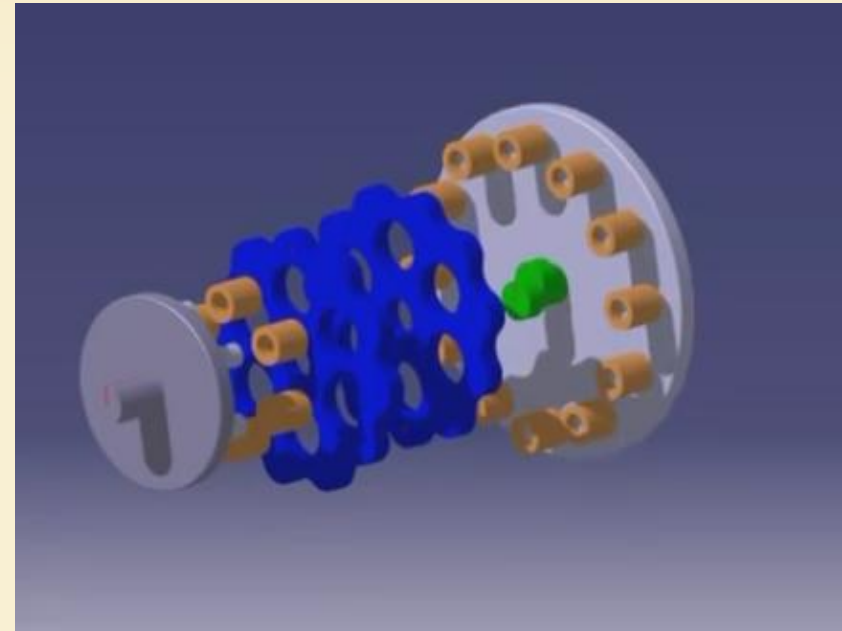
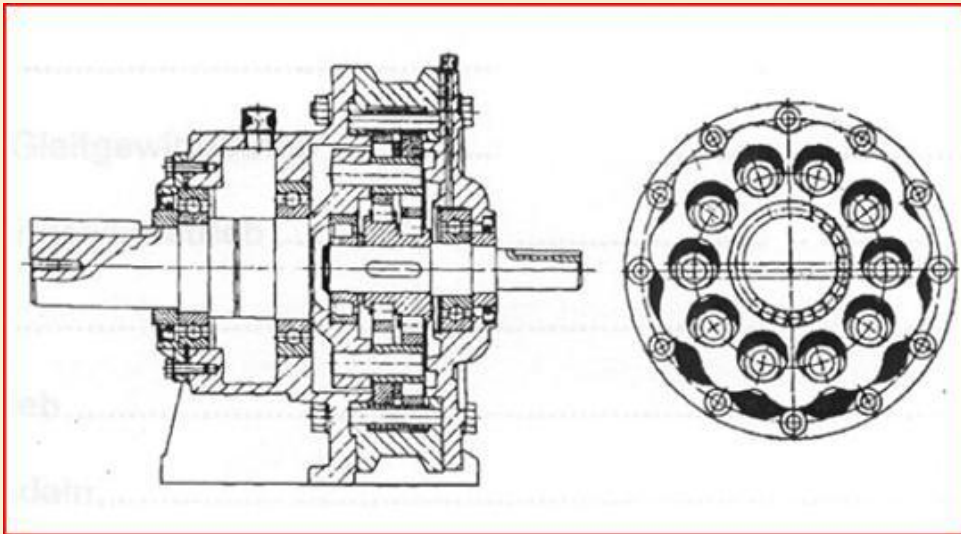
Ciklohajtóművek

- Szerkezeti és kinematikai jellemzőik a hullámhajtóművekéhez hasonlóak (ábra)
- Hatásfokuk jó
- Kis beépítési méret mellett nagy módosítás (egy fokozatban 1/90) megvalósítására képesek
- Tehetetlenségi nyomatékuk kicsi, élettartamuk magas

Mozgásátalakítók

Ipari robotok hajtása

Ciklohajtóművek



Mozgásátalakítók

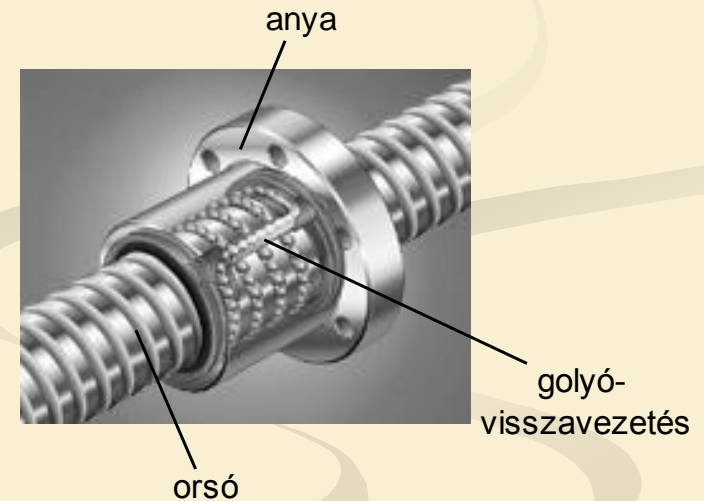
Forgó mozgásból lineáris mozgás

Működési elvüket tekintve:

- ❖ golyósorsós,
- ❖ fogasléces,
- ❖ Fogazott szíjas hajtások.

Megvalósítási lehetőségei:

- ❖ Golyósorsó – anya
- ❖ Fogaskerék – fogasléc
- ❖ Szalag



Mozgásátalakítók **Ipari robotok hajtása**

Lineáris mozgásból forgó mozgás

Cél: a mozgás jellegének megváltoztatása.

Szokásos megoldásai:

- Fogasléc – fogaskerék
- Szalaghajtómű
- Lánc hajtás
- Forgattyús mechanizmus

Ezekre a hajtóművekre az a jellemző, hogy nincs komolyabb teljesítményátvitel.

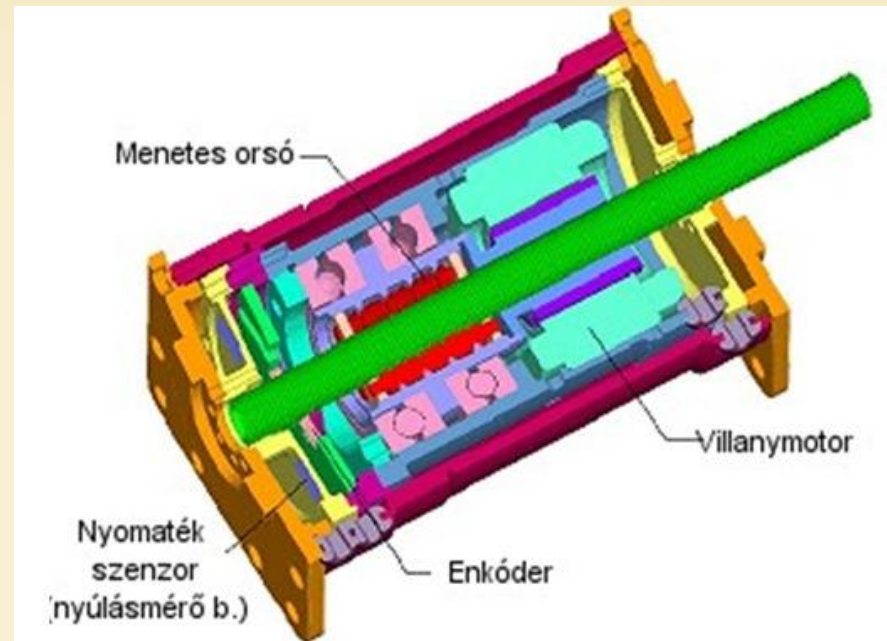
Példák ipari robotok hajtásrendszerére

Menetes orsós mechanikával és villamos motorral egybeépített **lineáris hajtás** az ábrán.

A hajtás kinyúlása 100 mm, az enkódere 10 bites (1024 lépés), tehát a felbontás kb. 0.1 mm.

Egy ilyen hajtással 1000N rúderőt ki lehet fejteni, igen jó a tömeg-teljesítmény arány.

Az egész szerkezet csak 700 gramm.

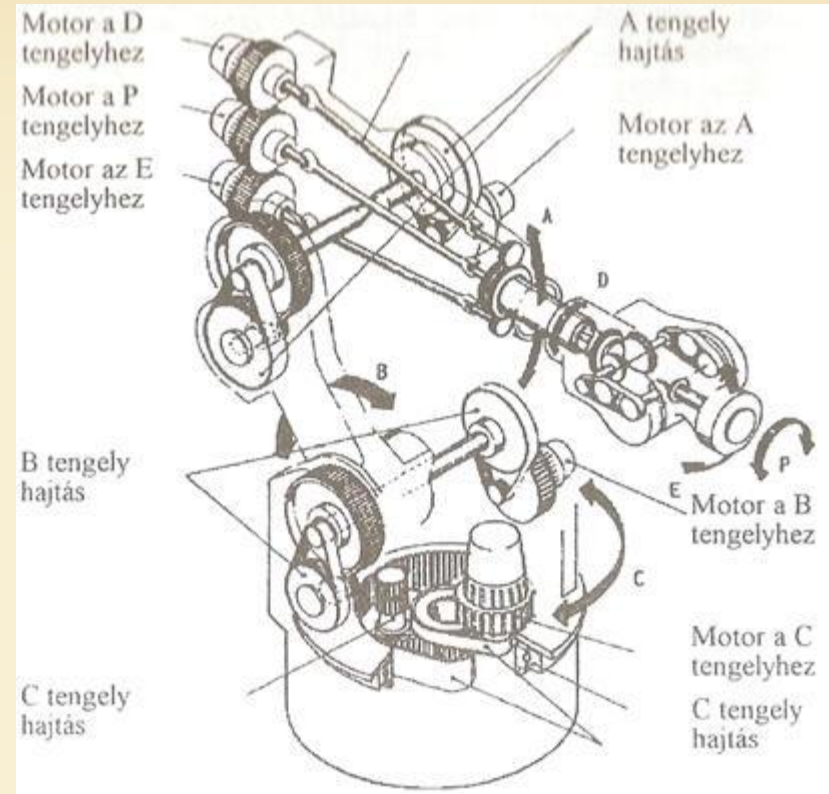


Példák ipari robotok hajtásrendszerére

Ipari robotok hajtása

Hattengelyes ipari robot hajtása (KUKA)

- ❖ ábrán egy 6 tengelyű ipari robot hajtáselemei láthatók
- ❖ minden mozgástengelyt egyenáramú (DC) tárcsamotor hajt
- ❖ beépített állandó mágneses biztonsági fékekkel van ellátva
- ❖ A mozgás során ellenmágneses tér szünetelteti a fékhatást.



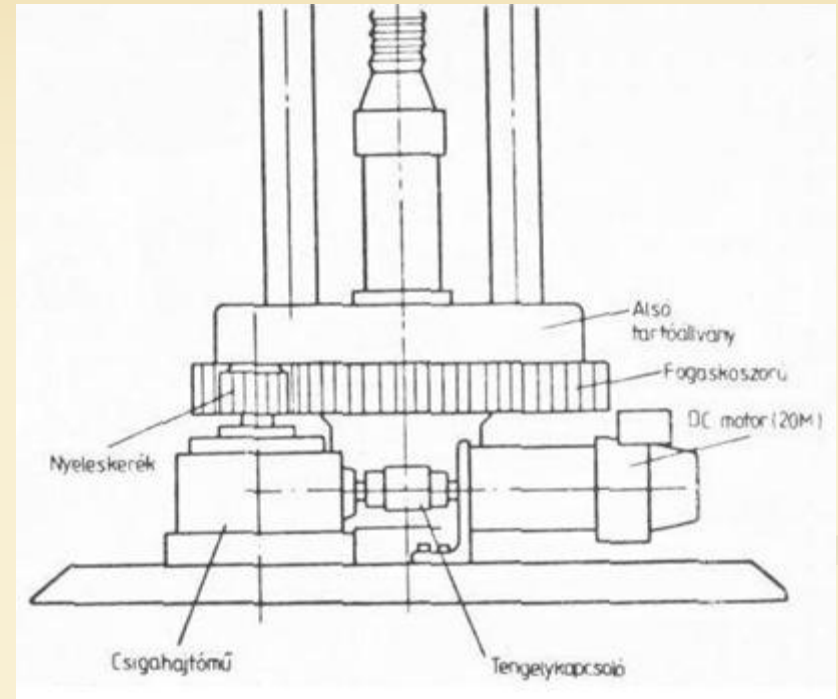
- ❖ A motorok fordulatszámát fogazott műanyag szíj hajtással, fogaskerék áttételekkel és hullámhajtóművekkel redukálják, és ezzel a nyomatékot növelik.

Példák ipari robotok hajtásrendszerére

Az ábra mutatja az alaptestben csapágyazott alsó tartóállvány forgatásának (1. robottengely) megoldását. Az egyenáramú szervomotor (DC motor) csigahajtáson keresztül kapcsolódik a kiskerékhez, mely az alsó tartóállvány tárcsaszerű testére erősített fogaskoszorút hajtja. szükség is van.

A viszonylag nagy átmérőjű fogaskoszorú mérsékelt kerületi erő mellett jelentős nyomatékot tud kifejteni, amire a nagy tehetetlenségű forgórész (lényegében a teljes robotszerkezet) gyorsításához

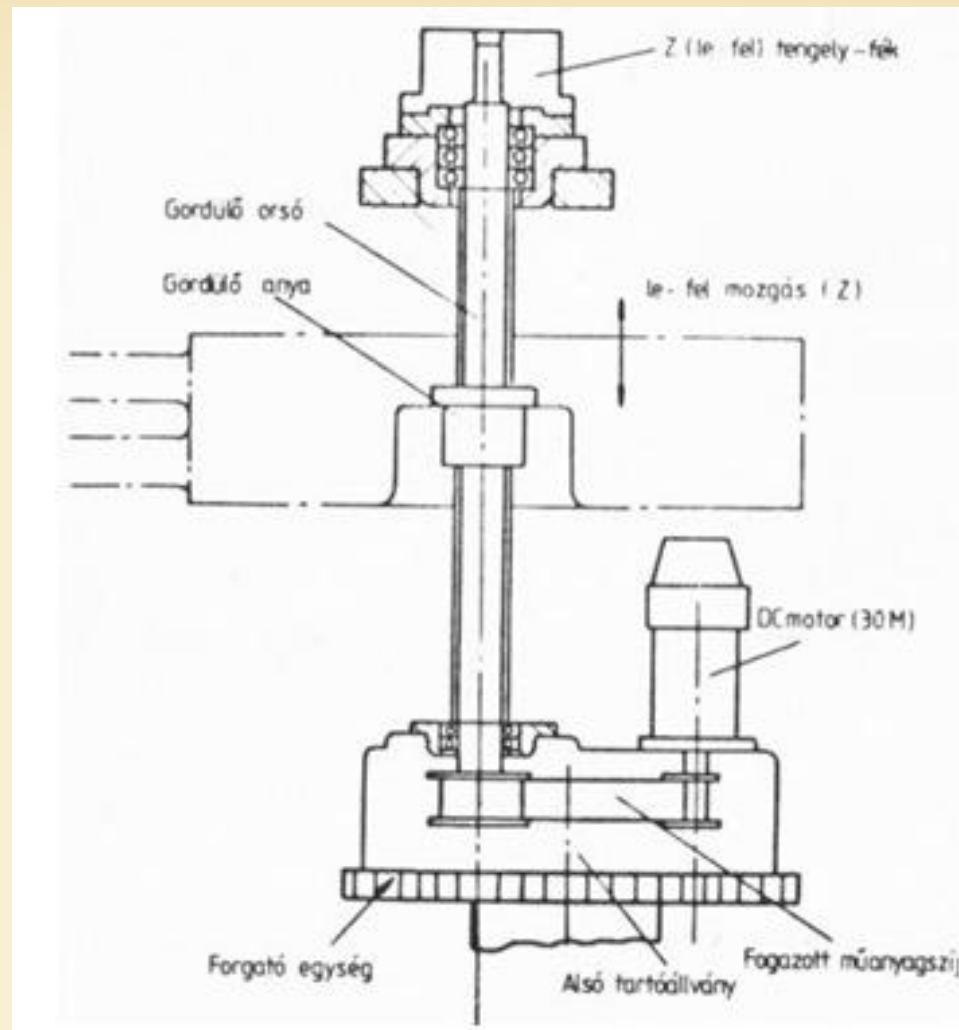
Ipari robotok hajtása



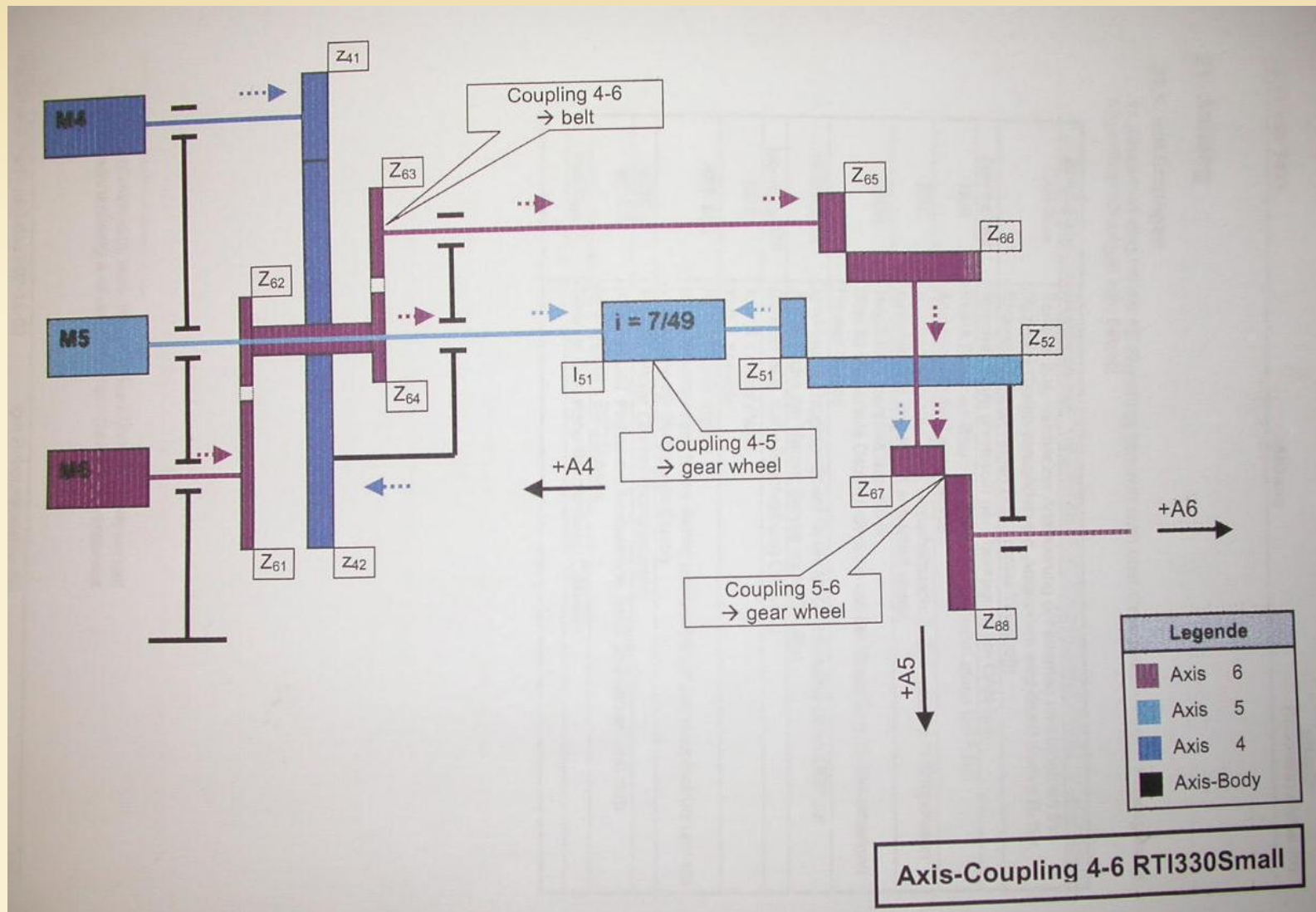
Példák ipari robotok hajtásrendszerére

Az ábrán a függőleges mozgatására (Z tengely) a szerszámgépeknél is gyakran alkalmazott egyszerű, de jó megoldás tanulmányozható, a kinematikai lánc: motor (DC motor), fogazott műanyag szíj és golyósorsó-anya kapcsolat. Az ábrán látható a függőleges tengely megállítására, illetve rögzítésére szolgáló fék is

Ipari robotok hajtása



Ipari robotok hajtása



Igm KUKA robot 4-es, 5-ös, 6-os tengelyének hajtáslánca

Köszönöm a figyelmet!

The background features several light-colored, wavy lines that flow from the bottom right towards the center, creating a sense of movement and depth.