

**MISKOLCI EGYETEM
SZERSZÁMGÉPEK TANSZÉKE**

Számjegyvezérlésű gépek útmérő berendezései
Oktatási segédlet

Összeállította

Dr. Zsiga Zoltán
főiskolai docens

Miskolc
2001

Számjegyvezérlésű gépek útmérő berendezései

A számjegyvezérlésű berendezések működtetésének egyik alapvető feladata az egyes részegységek, szánok, orsók, robotkarok meghatározott helyzetbe hozása. Ezt a feladatot az ún. pozicionáló rendszerek látják el, s ehhez nélkülözhetetlen, hogy a pozicionált részegységek helyzetéről az irányító rendszer folyamatosan információval bírjon. Ennek az információnak a megszerzésére és biztosítására szolgálnak az **NC vezérlésű berendezések útmérő rendszerei**.

Az útmérő rendszerek fő építő elemei a következők:

1. Elmozdulásérzékelő egy olyan mérőátalakító, amely a lineáris elmozdulásról vagy szögelfordulásról annak nagyságával esetleg sebességével arányos villamos jelet ad.
2. Jelátalakító, amely az érzékelő villamos jelét formálja, feldolgozza vagy dekódolja.
3. Számláló, tároló egység, amely az elmozdulással arányos digitális jelet számlálja, nyilvántartja.

Megjegyzendő, hogy az NC/CNC vezérlések számára az útmérő rendszereknek mindenkor digitális jelet kell szolgáltatniuk. A szokásos szóhasználatban, amikor útmérőről, útmérésről beszélünk, akkor ez alatt mindig a teljes érzékelő-feldolgozó-tároló rendszert kell érteni.

Az útmérő rendszereknek biztosítaniuk kell a mért elmozdulásról a teljes *mérési tartományban*, a megfelelő *felbontóképességgel* és előírt *pontossággal* a kívánt adatokat. E három követelmény teljesítését a megfelelő érzékelő és elektronika megválasztásával lehet biztosítani. Természetesen az érzékelő milyensége egyértelműen meghatározza az elektronika feladatának jellegét, ezért azt mondhatjuk, hogy egy útmérő rendszert alapvetően a benne lévő elmozdulásérzékelő milyenségével jellemezhetjük.

1. Az útmérő rendszerek csoportosítása

Az útmérőket, vagyis az elmozdulásérzékelőket az alábbi jellemzők szerint osztályozhatjuk:

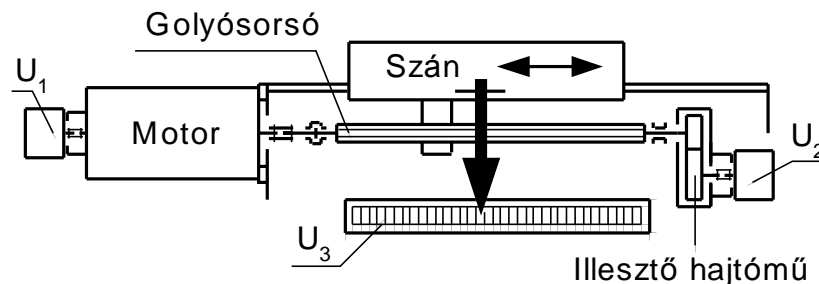
1. a kimenő jel jellege szerint lehetnek
 - ANALÓG (a jel a mérési tartományon belül folyamatosan és folytonosan arányos a mért jellemzővel) és
 - DIGITÁLIS (a mért jellemző a kimenő jelben diszkrét egységekben számjegyves kód formájában képződik le) érzékelők.
2. az adott jel vonatkoztatása szerint lehetnek
 - ABSZULUT (van saját nullája)
 - NÖVEKMÉNYES (relatív helyzet) érzékelők.

Az érzékelőket a mérendő részegységekhez különböző beépítési móddal csatlakoztatják, így az érzékelő és az elmozdulás közötti kinematikai kapcsolat alapján vannak (lásd 1. és 2. ábra)

- KÖZVETLEN (nincs mozgásátalakító)
- KÖZVETETT (van mozgásátalakító) útmérők illetve útmérési eljárások.

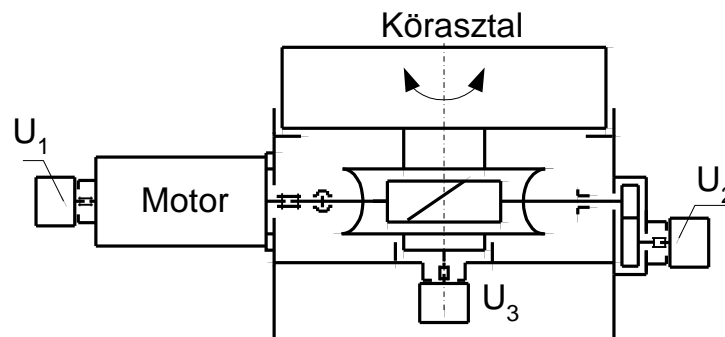
A szerszámgépek esetében a lineáris elmozdulások mérése a leggyakoribb feladat. Ennek megoldási lehetőségeit szemlélteti az 1. ábra. Az U_1 és U_2 jelű útmérők *közvetett*

mérést valósítanak meg, mert az érzékelő és a mért lineáris elmozdulás között mozgásátalakító van (menetesorsó-anya, illesztő hajtómű). Az U_3 jelű útmérő *közvetlenül* a lineáris mozgást méri.



1. ábra

A 2. ábra a szögelfordulások, pl. egy folytonos osztású körasztal elfordulásmérésének lehetséges megoldásait mutatja. Az U_1 és U_2 útmérők itt is közvetett, míg az U_3 jelű közvetlen mérést valósít meg.



2. ábra

Közvetlen mérés esetén a mérőrendszer felbontóképessége azonos a legkisebb mérhető elmozdulás nagyságával, tehát kis mérendő elmozdulások esetén nagyon “finom” mérőrendszer szükséges. Ugyanakkor előny, hogy a mérés pontosságát nem befolyásolják kinematikai hibák.

*Közvetett mérés*nél a mozgásátalakítók pontatlanságai rontják a mérési pontosságot, de ezek ma már nem számottevőek normál pontosságú gépek esetében. Ugyanakkor a mozgásátalakítók illetve az illesztő hajtóművek megfelelő megválasztásával “durvább” útmérővel is elérhető a kívánt mérhető legkisebb elmozdulás, az ún. *útegység*. A közvetett útmérés eszközei ma már olcsóbbak is, és a beépítésük is egyszerűbb, ezért a CNC gépeken elsősorban ezeket az eljárásokat alkalmazzák.

Természetesen mind a közvetett, mind a közvetlen mérési eljárásoknál különböző felépítésű, különböző elven működő útmérők is felhasználhatók.

Az alábbi táblázatban a CNC gépeken alkalmazott útmérő rendszereket foglaltuk össze a fentebb már ismertetett osztályozási szempontok figyelembe vételével. Az osztályozásnál azt tekintettük alapnak, hogy a mérendő elmozdulás lineáris mozgás.

	DIGITÁLIS		ANALÓG	
	ABSZOLUT	NÖVEKMÉNYES	ABSZOLUT	NÖVEKMÉNYES
KÖZVET- LEN	KÓDLÉC	RÁCSLÉC	LINEÁRIS POTENCIOMÉTER	INDUKTOSZIN
KÖZVE- TETT	KÓDTÁRCSA	FORGÓ IMPULZUSADÓ	FORGÓ POTENCIOMÉTER	REZOLVER

2. Digitális útmérők

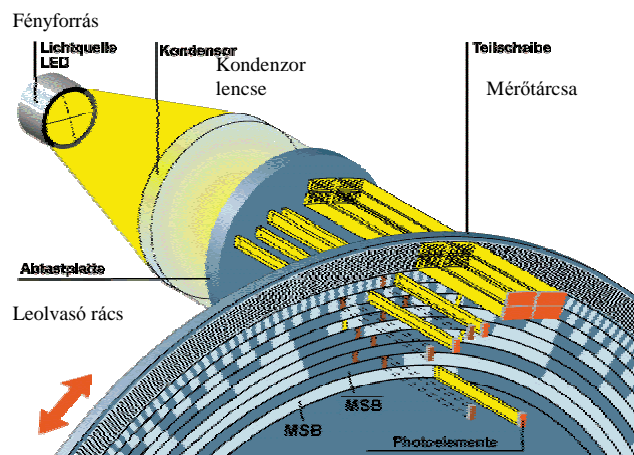
Digitális útmérés esetén az elmozdulást vagy elfordulást a méréstartományban elemi egységekre bontjuk. Ezt az egységet nevezzük útegységnek s jelöljük lineáris mozgás esetén d -val, szögmérésnél d_j -vel. A megkülönböztetendő útegységek száma N_d illetve N_j a méréstartományok (L , Φ) ismeretében az alábbi képletekkel számíthatók:

$$N_d = L/d \quad \text{illetve} \quad N_j = \Phi/d_j .$$

A mérőrendszernek a méréstartományban N_δ illetve N_φ számú jelet kell adnia. Ha ezek a jelek egymástól egyértelműen megkülönböztethetőek (kódolva vannak), akkor abszolút, ha nem (a jelek azonosak), akkor növekményes útmérőről beszélünk.

2.1. Digitális, abszolút útmérők

Alapelvük, hogy a mérési tartományban szükséges útegységeket kódolják, s ezáltal teszik azokat egymástól megkülönböztethetővé. Lineáris elmozdulás közvetlen mérésekor (**digitális, abszolút, közvetlen**) egy **kódléc**, közvetett mérésnél (**digitális, abszolút, közvetett**) egy **kódtárcsa** hordozza a kódot, melyet rendszerint egy optikai leolvasó rendszerrel olvasnak le. Ennek egy lehetséges felépítését mutatja a 3. ábra.



Forrás: Dr. Johannes Heidenhain GmbH

3. ábra

- A kódlécet szinkron-, vagy *ütemcsatornával* látják el. Az ütemcsatorna osztásának $\Delta/2$ -nek kell lenni, s ez tovább növeli a gyártási nehézségeket.
- Másik megoldás a speciális kód, pl. a *Gray-kód* alkalmazása. Ekkor egyidejűleg mindig csak egy bit értéke változik, s ez biztosítja a hibafelismerést.
- A harmadik megoldási lehetőség az ún. *V-leolvasás* alkalmazása. Itt egy-egy csatorna leolvasására megfelelően elhelyezett két-két leolvasó elemet helyeznek el (kivételesen 2^0 -os). Ezzel az eljárással a bináris, vagy a binárisan kódolt decimális kódok (BCD) megfelelő biztonsággal leolvashatók.

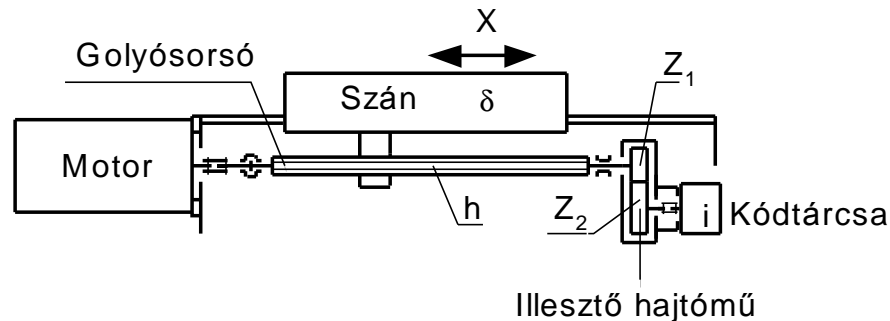
A közvetett, digitális, abszolút útmérés eszköze a **kódtárcsa**, illetve a kódtárcsa rendszer. A 3. ábra olyan kódolt kódtárcsát mutat, melynek külső sávján jól látható a leolvasás biztonságának növelésére az ún. szinkronizáló sáv. (Forrás: Dr. Johannes Heidenhain GmbH.)

Egy binárisan kódolt kódtárcsa osztásszöge:

$$D_j = \frac{360^\circ}{2^{i-1}}, \quad \text{ahol } i \text{ a csatornaszám.}$$

Látható, hogy nagy osztásszám, illetve kicsi szögosztás itt is csak nagy csatornaszámmal biztosítható. Ez a kódléchez hasonló gyártási gondokat vet fel.

A közvetett mérés jellemzője, hogy az útegység (d) nem csak az útmérő rendszer felbontóképességétől, hanem az illető hajtómű hajtóviszonyától is függ. Az 5. ábra egy kódtárcsával megvalósított közvetett, abszolút mérést mutat.



5. ábra

A rendszer adatai:

- golyósorsó menetemelkedése: h
- az illesztő hajtómű hajtóviszonya: $k = z_1/z_2$
- a bináris kódtárcsa csatornaszáma: i
- az útegység: d

Az illesztés egyenlete:

$$d \times \frac{360^\circ}{h} \times k = D_j, \quad \text{ahol } D_j = \frac{360^\circ}{2^{i-1}} \text{ és } k = \frac{z_1}{z_2}.$$

Ebből az illesztő hajtómű hajtóviszonya:

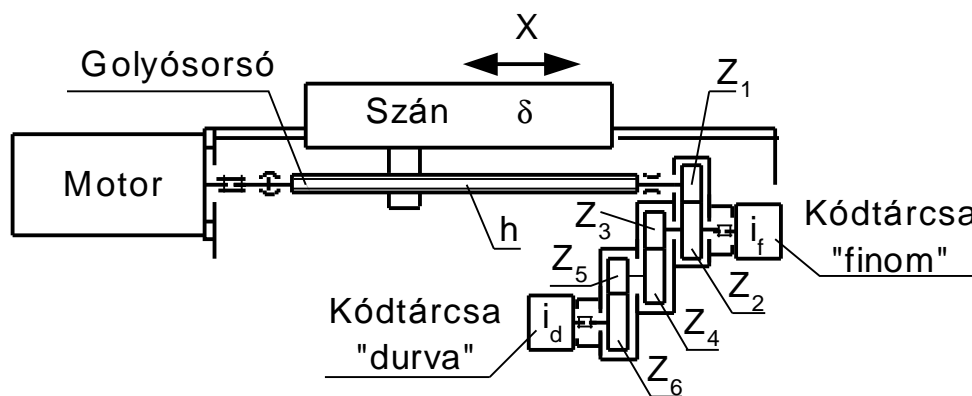
$$\mathbf{k} = \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{d} \times 2^{i-1}}$$

Az egy kódtárcsával mérhető úthossz:

$$\mathbf{X} = \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{k}} = \mathbf{d} \times 2^{i-1},$$

mert a tárcsa az egy körülforduláshoz tartozó elmozdulást képes mérni.

A fentiekből látható, hogy egyetlen kódtárcsával általában a feladat nem oldható meg. Ezért több tárcsa összekapcsolásával összetett mérőrendszereket alkalmaznak. Egy ilyen vázlatát mutatja a 6. ábra.



6. ábra

A rendszer jelölései az 5. ábrán bemutatotthoz hasonlóak. A két kódtárcsa alkalmazásával biztosítható a megfelelő útegység mellett a nagy méréstartomány is. Az ún. "finom" tárcsa az útegység illesztésre szolgál. Egyenletei az előzőek alapján:

az illesztő hajtómű hajtóviszonya

$$\mathbf{k}_f = \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{d} \times 2^{i_f-1}}, \quad \text{és} \quad \mathbf{k}_f = \frac{\mathbf{z}_1}{\mathbf{z}_2}$$

a mérhető úthossz

$$\mathbf{X}_f = \frac{\mathbf{h}}{\mathbf{k}_f} = \mathbf{d} \times 2^{i_f-1}.$$

Ha a "finom" tárcsát a k_f hajtóviszonyú hajtóművel illesztjük a szánhoz, azzal biztosítjuk, hogy egy útegységnyi elmozduláshoz a tárcsa egy osztásnyi elfordulása tartozzon. Ez azonban nem teszi lehetővé a teljes mozgástartomány leképzését. Erre a célra a "durva" tárcsa szolgál. A "durva" tárcsa tulajdonképpen a "finom tárcsa" körülfordulásainak számát méri. A körülfordulások száma a szán teljes elmozdulásából és a "finom" tárcsával mérhető úthosszból számítható:

$$\mathbf{N}_d = \frac{\mathbf{X}}{\mathbf{X}_f}$$

Ezzel a "durva" tárcsa szükséges csatornaszáma:

$$\mathbf{i}_d = \lfloor \log_2 \mathbf{N}_d \rfloor_{\text{egész}} + 1$$

A két tárcsa között szükséges k_d hajtóviszony:

$$j_f \times k_d = D j_d \quad \text{vagyis} \quad 360^0 \times k_d = \frac{360^0}{2^{i_d-1}} \quad \text{s ebből}$$

$$k_d = \frac{1}{2^{i_d-1}}$$

A tárcsarendszerrel mérhető elmozdulás:

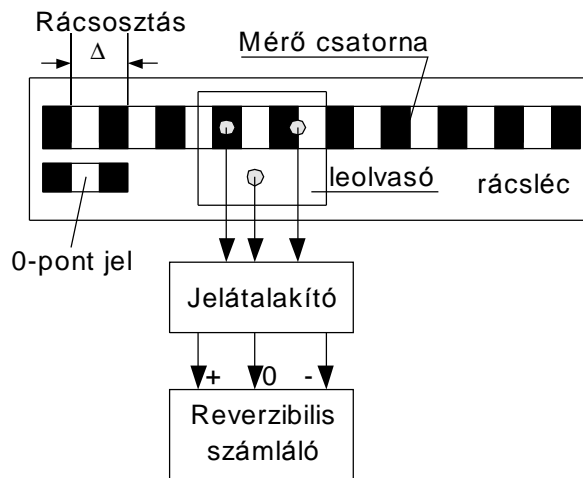
$$X_{fd} = \frac{h}{k_f \times k_d} \quad (X_{fd} \text{ mindig nagyobb, mint } X)$$

Amennyiben az egymást követő binárisan kódolt tárcsák közötti hajtóviszonyt 1/10-re választjuk, akkor egy bináris-decimális (BCD mérőrendszert kapunk.)

A gyártási, leolvasási nehézségek miatt a kódolt abszolút mérőrendszerek drágák, ezért alkalmazásuk a szerszámgépek építésénél nem terjedt el.

2.1 Digitális, növekményes útmérők

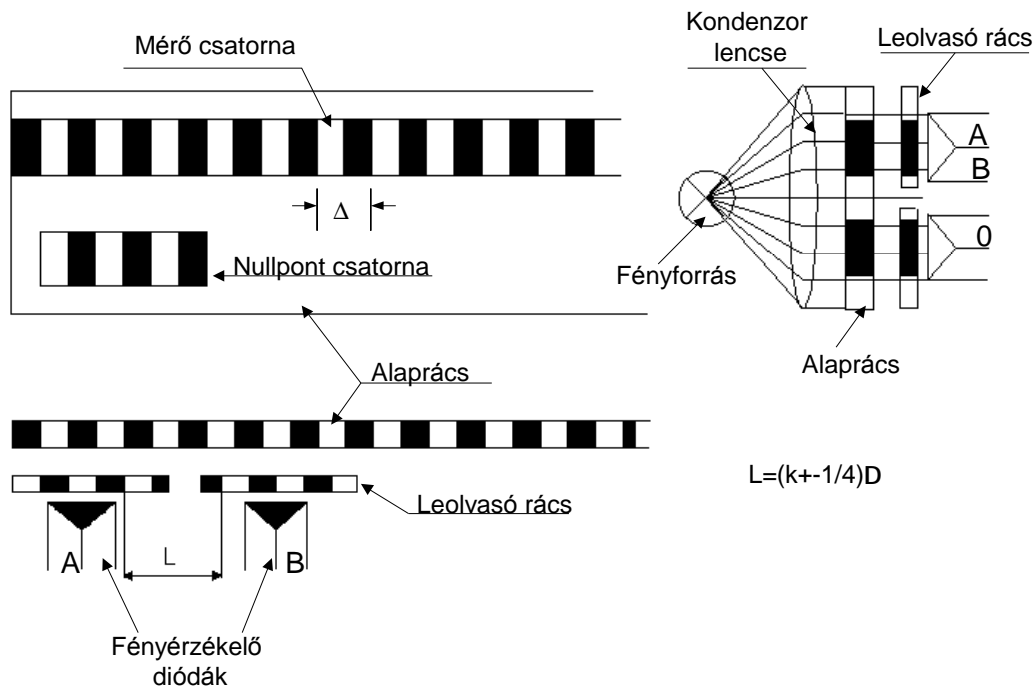
Alapelvük, hogy a mérési tartományban minden útegységnyi elmozdulásra adnak egy-egy jelet, melyeket megszámlálva nyerik az elmozdulás nagyságával arányos számértéket. Lineáris elmozdulás közvetlen mérésekor (**digitális, növekményes, közvetlen**) egy **rácsléc**, közvetett mérésekor (**digitális, növekményes, közvetett**) egy **rácstárcsa** a mérőelem. Egy lehetséges elvi felépítést mutat a 7. ábra.



7. ábra

A leolvasó optikai rendszer a fényátbocsátás vagy a fényvisszaverés elvén működik. A jelátalakító feladata a fényérzékelő elemek jelének feldolgozása, a mozgásirány meghatározása. A reverzibilis számláló az irányhelyesen kibocsátott impulzus jeleket előjelhelyesen számlálja, tartalma a 0-pont jellel nullázható.

Tekintettel arra, hogy a digitális, növekményes útmérő jelei egymástól nem különböztethetőek meg, és az elmozdulás nagyságát a kibocsátott impulzusok száma alapján kapjuk meg, biztosítani kell, hogy az impulzusok a mozgásirányra vonatkozóan is nyújtsanak információt, vagyis a rendszer "irányérzékeny" legyen. Az irányérzékeny útmérő elvi felépítését mutatja a 8. ábra.



8. ábra

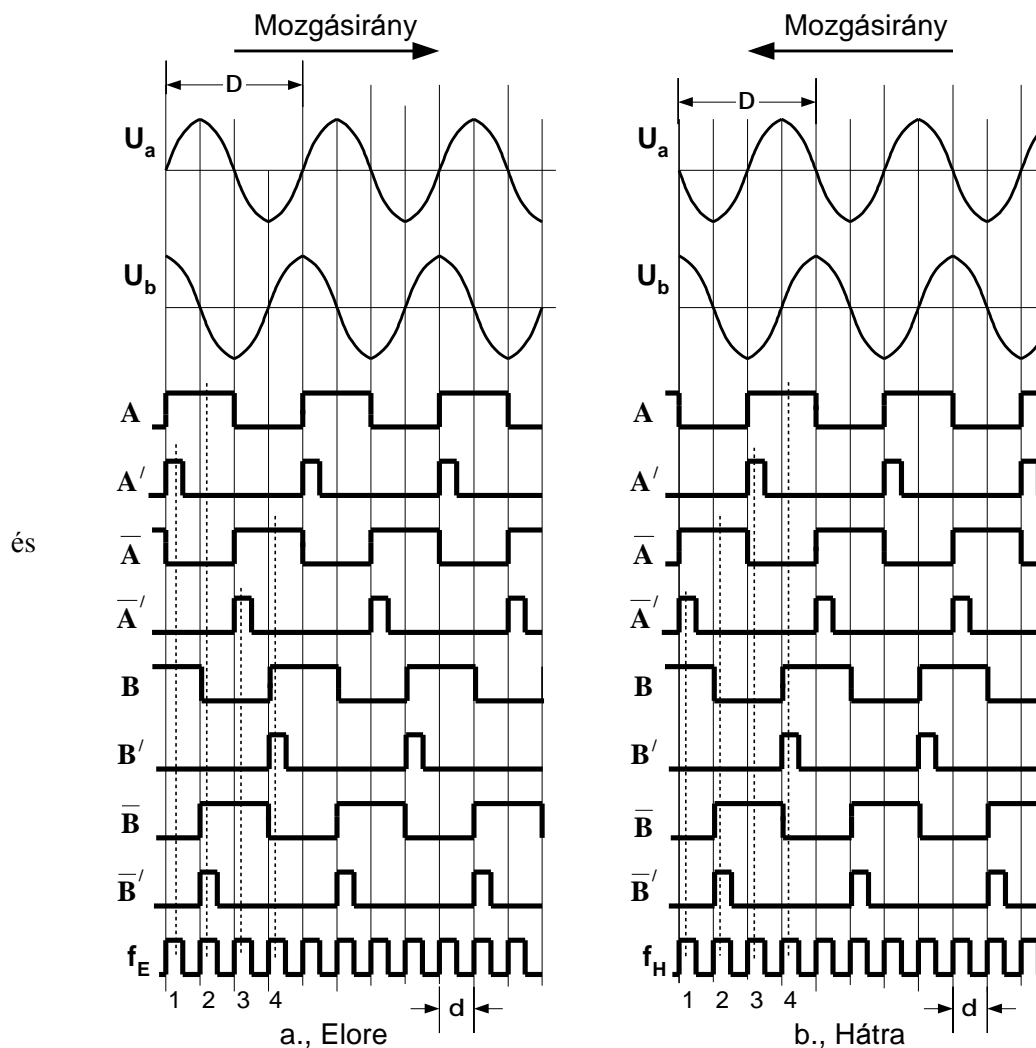
Az alaprács osztása D . Az A és B jelű fotodiódák a megvilágítást az úgynevezett **leolvasó rácsokon** keresztül kapják. A leolvasó rács osztása is D , a szerepe pedig az, hogy egyidejűleg több rács rés zárását és nyitását biztosítja, ezáltal nagyobb lesz a dióda megvilágításának intenzitása, s ezzel villamos jele is, s ez növeli a jelképzés biztonságát. A leolvasási biztonságot még azzal is növelik, hogy mindkét leolvasási pozícióban két-két diódát alkalmaznak, s ezek jeleit páronként összeadják. A nullpont-csatorna jele a rendszer nullázására szolgál, a CNC gépeknél a referenciapont felvételénél, illetve bizonyos kinematikai kapcsolatok helyzeti szinkronizálásánál (pl. menetesztergálás) van rá szükség.

Az "irányérzékeny" működés alapja az, hogy a kettő fényérzékelő diódát (A, B), illetve leolvasó rácsaikat

$$L = \left(k \pm \frac{1}{4} \right) D \quad \text{távolságra helyezik el (k egy tetszőleges pozitív}$$

egész szám, Δ a mérőcsatorna osztástávolsága). Ennek következtében a két dióda jele egymáshoz viszonyítottan 90° -os villamos szöggel eltérő lesz. Ez a fáziseltérés alkalmas a mozgásirány meghatározására, mert az egyik jel a mozgásiránytól függően hol siet, hol késik a másikhoz képest.

A jelformázást, a fázis-összehasonlítást a jelátalakító elektronika végzi. Az útmérő jeleinek az elmozdulás folyamán egy lehetséges időbeli változását a 9. ábra mutatja.



9. ábra

Állandó mozgási sebesség esetén a leolvasó rácok fentebb leírt elhelyezése mellett a "sötét-világos" átmenet hatására a fotodiódák villamos jelének alapharmonikusai:

$$U_a = u_0 \times \sin(a) \quad \text{és}$$

$$U_b = u_0 \times \cos(a), \quad \text{ahol}$$

$$a = 2p \times \frac{x}{D} \quad (x \text{ az osztáson belüli elmozdulás, } x_{\max}=D)$$

A jelfeldolgozó elektronika a dióda jeleiből a negyed rácsoztással eltolt fázishelyzetű **A** és **B** bináris jelsorozatot (impulzus sorozatot) állítja elő. A mozgásirány meghatározásához az egyszerűbb megérthetőség érdekében csak az **A**; \bar{A} ; **B**; \bar{B}' jeleket vegyük figyelembe.

Az iránymeghatározó egység, más néven az **iránydiszkriminátor** a **B** vonatkozó jelből képi a **B'** összehasonlító impulzust, s az alábbi logikai függvényt értékeli ki:

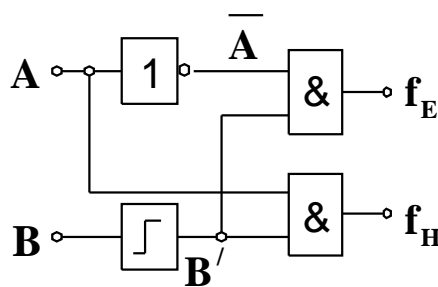
$$f = A \times B' \dot{\wedge} \bar{A} \times B'$$

A függvény azt fejezi ki, hogy az iránydiszkriminátor a kimenetein egyidejűleg csak az egyiket, mégpedig a mozgásiránynak megfelelően adhat ki jelet. A 9. ábra alapján tehát az alábbi logikai kapcsolatok teljesülnek:

$$\text{előre mozgásnál} \quad f_E = \bar{A} \times B',$$

$$\text{hátra mozgásnál} \quad f_H = A \times B'$$

Egy ilyen egyszerű iránymeghatározó egység logikai vázlatát a 10. ábra szemlélteti.



10. ábra

Látható, hogy a fenti esetben a kimeneten minden rácsozástáshoz egy impulzus tartozik, vagyis a felbontóképesség azonos a rácsozással ($d=D$).

Az útmérő rendszer felbontóképessége a megfelelő jelfeldolgozással csökkenthető. A 9. ábra azt az esetet is mutatja, amikor ún. **négyl-kiertékelés** történik. Ennek logikai egyenletei:

$$\text{előre mozgásnál} \quad f_E = A' \times B \dot{\wedge} A \times B' \dot{\wedge} \bar{A}' \times B \dot{\wedge} \bar{A} \times B'$$

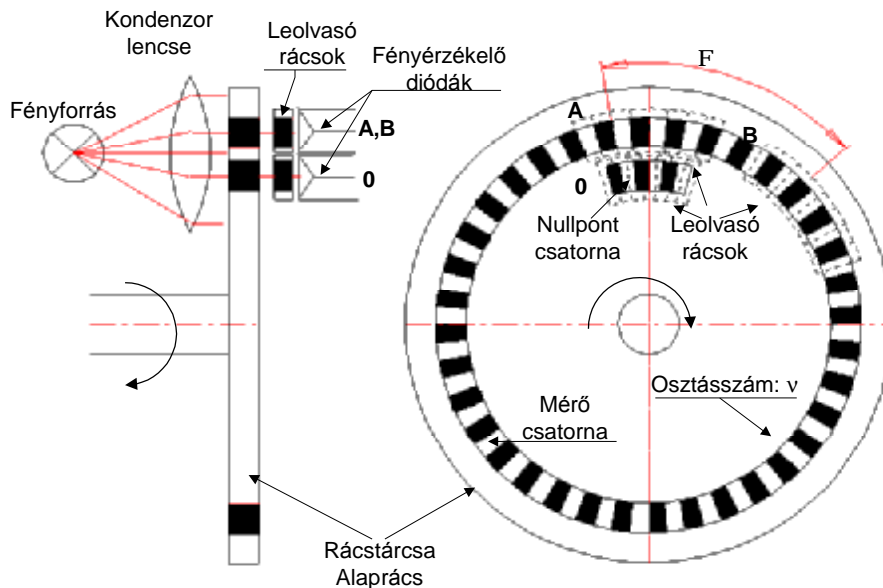
$$\text{hátra mozgásnál} \quad f_H = \bar{A}' \times B \dot{\wedge} \bar{A} \times B' \dot{\wedge} A' \times \bar{B} \dot{\wedge} A \times B'$$

A négyél-kiertékelés során egy rácsozástás periódushoz négy kimeneti impulzus tartozik, tehát a rendszer felbontóképessége: $d=D/4$.

Különbféle ún. interpolációs eljárásokkal elektronikus úton tovább lehet növelni a felbontóképességét a digitális, növekményes útmérőknek. A négyél-kiertékelés és valamilyen interpolációs eljárás együttes alkalmazásával az elérhető felbontás a rácsozástás $1/20$, $1/40$, vagy akár $1/100$ –ra csökkenthető.

A **közvetlen, növekményes, digitális** útmérő, az **impulzusadó lécc**, vagy rácslécc a fentebb ismertetett elven működik, s lineáris elmozdulások mérésére alkalmas. Alkalmazásánál, mivel közvetlen mérőeszköz, a mérhető legkisebb útegység azonos értékű a mérőrendszer felbontóképességével, amely a szokásos $1\mu\text{m}$ -nél akár kisebb, pl. $0.1\mu\text{m}$ is lehet, mérési hosszuk elérheti a 10 métert.

Működési elvében azonos, csak szerkezeti felépítésében más a CNC gépeken leggyakrabban alkalmazott elmozdulás mérő, a **forgó impulzusadó**, amely a **közvetett, digitális, növekményes** mérés eszköze. Felépítését a 11. ábra mutatja.



Forgó impulzusadó felépítési vázlata

11. ábra

Az ábra jelöléseivel a tárcsa osztásszöge

$$D_j = \frac{360^\circ}{n}, \quad \text{ahol } n \text{ a tárcsa osztásainak száma.}$$

Az impulzusadó által biztosított szögfelbontás itt is a jelfeldolgozás módjától függ, (négyél-kiértékelés esetén $n=4$)

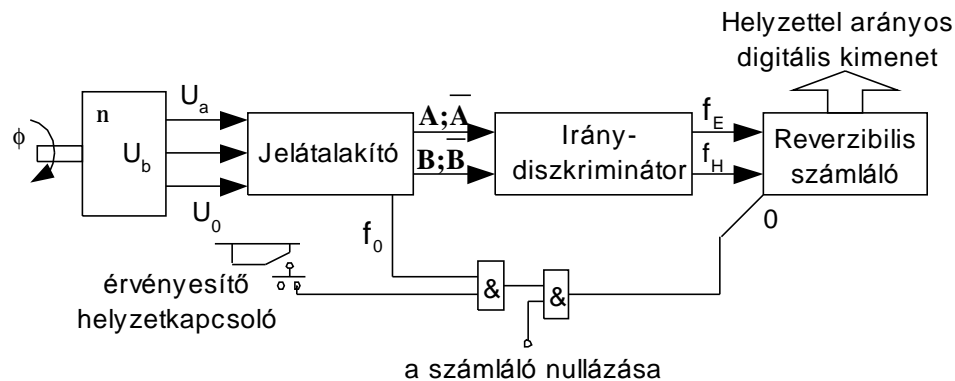
$$d_j = \frac{D_j}{n} = \frac{360^\circ}{n \cdot n}, \quad \text{ahol } n \text{ a jelkiértékelés módjára utaló szám,}$$

($n=4;10;20;40;100$).

Az irányérzékeny mérés megvalósításának érdekében a forgó impulzusadó **A** és **B** érzékelő diódák jelei közötti 90° -os fáziseltolást azzal biztosítják, hogy a leolvasó rácsokat egymáshoz viszonyítottan

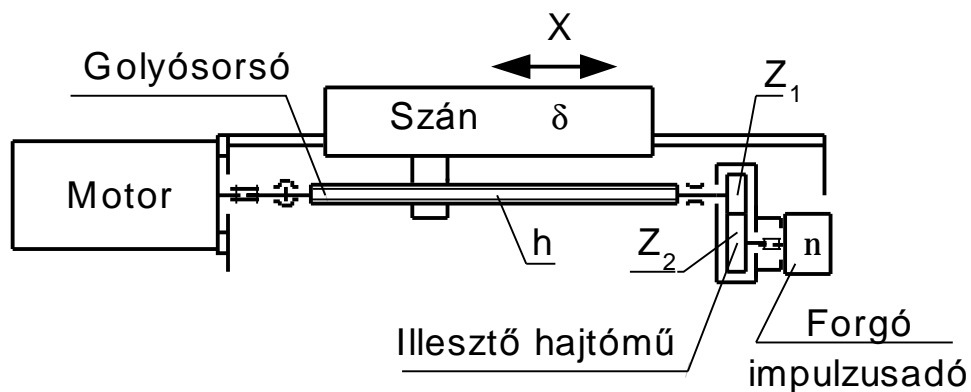
$$F = \frac{\alpha}{\epsilon} k \pm \frac{1}{4} \frac{\delta}{\theta} \times D_j = \frac{\alpha}{\epsilon} k \pm \frac{1}{4} \frac{\delta}{\theta} \times \frac{360^\circ}{n}$$

szögeltolással szerelik. A mérőtárcsa elfordulása során a jelek változása itt is a 9. ábrán bemutatottak szerinti. A jeladó körülfordulásonként a forgástengely mindig azonos szöghelyzetében egy-egy **nullimpulzust** ad. Ez a jel biztosítja a mérőrendszer abszolút tételét. (Lásd 12. ábra)



12. ábra

A szerszámgépek szánelmozdulásának forgó impulzusadóval történő mérésekor a beépítés tervezésekor két feltételt kell kielégíteni. Egyrészt biztosítani kell, hogy az impulzusadó egy impulzusához a szán egy elemi elmozdulása, az ún. útegység tartozzon (inkrement illesztés), másrészt a legnagyobb szánsebesség esetén is hibátlan legyen a jelfeldolgozás (sebesség illesztés). A 13. ábra egy forgó impulzusadóval történő útmérés vázlatát mutatja.



13. ábra

A rendszer adatai:

- golyósorsó menetemelkedése: h
- az illesztő hajtómű hajtóviszonya: $k = z_1/z_2$
- a forgó impulzusadó mérőtárcsa rácsosztásainak száma: v
- az útegység: d

Az impulzusadó tengelyének φ szögelfordulása és a szán x lineáris elmozdulása közötti kapcsolatot leíró egyenlet:

$$j = x \times \frac{2p}{h} \times k.$$

Behelyettesítve az útmérő felbontás δ_φ , és az útegység δ értékét rendezés után az illesztő hajtómű szükséges hajtóviszonya:

$$k = \frac{h}{n \times n \times d}, \text{ ahol } n \text{ a már korábban definiált, a jelkiértékelés módjára utaló}$$

szám.

Ha a forgó impulzusadó a fentebb meghatározott hajtóviszonyú illesztő hajtóművel kapcsoljuk a szánmozgató orsóhoz, akkor ezzel megvalósul az ún. **inkrement illesztés**.

A **sebesség illesztés** során azt kell ellenőrizni, hogy a szán legnagyobb sebessége esetén a jelsorozat frekvenciája alatta marad-e az útmérőre megengedett legnagyobb jelsorozat frekvenciának, vagyis:

$$f_{vmax} = \frac{v_{max}}{d}; L \text{ és } L f_{vmax} \leq f_{max}, \text{ ahol az } f_{max} \text{ az útmérő kimenő}$$

jelsorozatának az a legnagyobb frekvenciája, amelynél a jelfeldolgozás még hibátlan (ez a gyártó által megadott, az útmérőre jellemző érték).

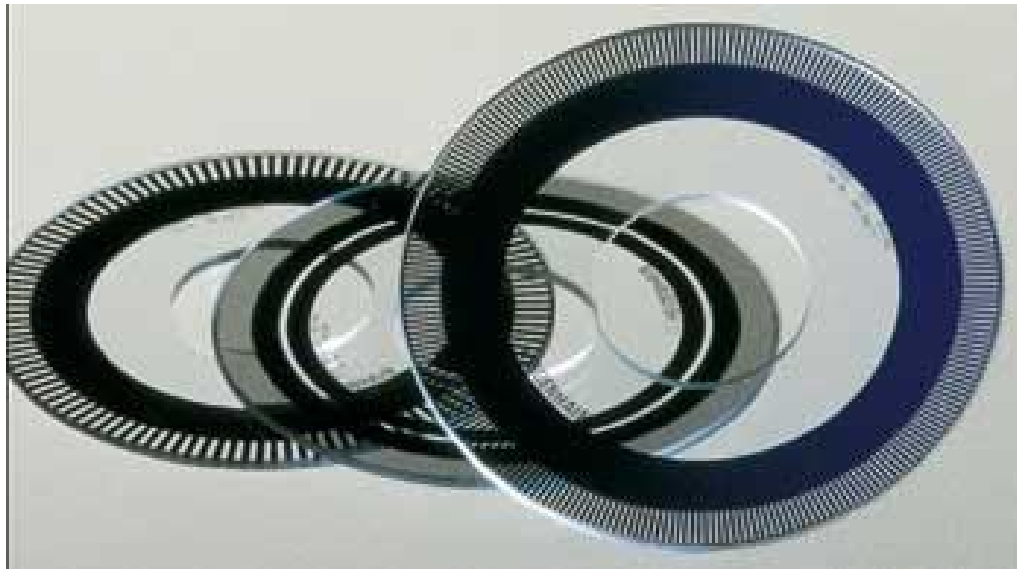
A következő ábrák a Dr. Johannes Heidehain GmbH. által gyártott eszközökre, azok építőelemeire mutatnak példákat.



Lineáris lécek
15. ábra



Forgó impulzusadók
16. ábra



Forgó impulzusadó üveg rácstárcsák
17. ábra



Kódolt üvegtárcsák
18. ábra