

Abszolút forgójeladók

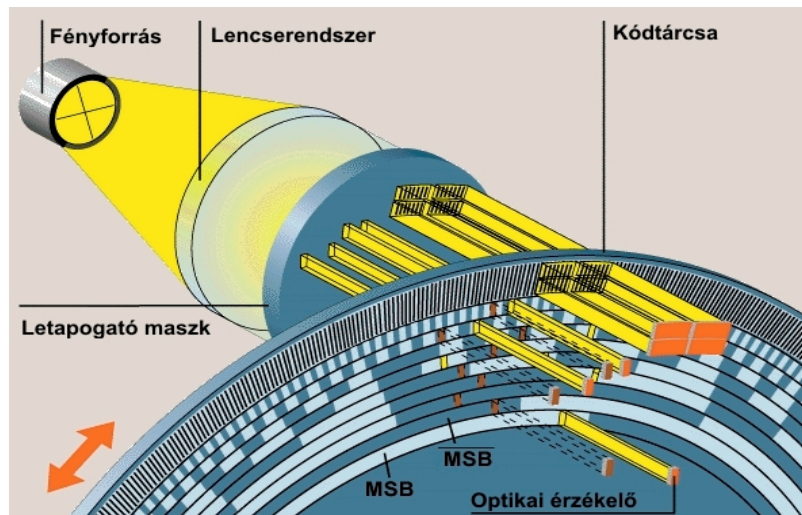
Az inkrementális forgójeladók legnagyobb hátránya, hogy az elmozdulás nagyságát, vagy pozíció meghatározását szolgáló kimenő impulzusokat egy külső számlálóval kell számolni és tárolni. Ha a tápfeszültség megszűnik, a számlálás eredménye elvész. Ez azt jelenti például, hogy egy inkrementális jeladóval felszerelt gépnél a műszak végi kikapcsolás után, vagy javításkori, karbantartáskori kikapcsolás után a tápfeszültség visszakapcsolásakor nem lehet tudni a gép pontos pozícióját. A mozgó géprészen el kell helyezni egy úgynevezett referenciapont (Home) kapcsolót és minden tápfeszültség bekapcsolás után erre a kitüntetett pozícióra (referenciapontra) kell mozgatni a gépet. A kitüntetett pozícióban nullázni kell a számlálót (vagy egy ismert értékkel feltölteni) és a rendszer csak ettől kezdve képes az itt felvett pozícióhoz viszonyítani a mozgást. Több tengelyes gépnél ezt a műveletet minden tengelyen meg kell ismételni.

Az abszolút forgójeladókat a fenti probléma kiküszöbölésére hozták létre. Az abszolút jeladókat úgy tervezték, hogy minden pillanatban kiolvasható legyen az aktuális pozíció.

Működési elvük sokféle lehet: mechanikus, optikai, mágneses, indukciós (rezolver), potenciométeres, stb.

Optikai abszolút forgójeladók

Az ipari alkalmazásokban a legelterjedtebb az optikai elven működő abszolút forgójeladó. A működés alapelve megegyezik az inkrementális eszköznél már megismert sötét és világos szegmensek optikai érzékelésével, csak az érzékelők száma és elrendezése más.



1. ábra - Optikai abszolút forgójeladó elvi felépítése (kép - Heidenhain)

A forgó üvegtárca koncentrikus gyűrűkre van felosztva. Az egyes koncentrikus gyűrűk felváltva tartalmaznak világos és sötét szegmenseket változó hosszal. A tárcsa szélét és a középpontját összekötő vonal mentén az egyes gyűrűk világos vagy sötét állapota adja a tárcsa pozíció kódját.

A kódtárcsákon lévő kód kialakításánál általában bináris, vagy Gray kódot használnak.

A **Bináris kód** a számítástechnikai rendszerekben nagyon egyszerűen felhasználható kód.

A legegyszerűbb kódtárcsákon ezt a kódolást használják.

A tárcsán a legbelső kódgyűrű adja a kód legnagyobb helyértékű bitjét, ez a gyűrű egy sötét és egy világos részre van felosztva. A tárcsa közepétől kifelé haladva a következő gyűrű két sötét és két világos szegmenset tartalmaz, míg a következő gyűrűben négy világos és négy sötét szegmens van és így nő kifelé haladva kettő hatványai szerint egészen a tárcsa széléig, ahol a legkisebb helyértékű bit található.

Ha pl. a tárcsa 12 gyűrűt tartalmaz, akkor a külső gyűrű 2048 szegmensre van felosztva. Az így kódolt tárcsánál viszont a tárcsa egyik pozícióból a következő, vagy előző pozícióba mozgatáskor több bit változik és egy-egy bit hibás olvasása (pl. szinkronizálási hiba az osztás fizikai határán) nagy hibát okozhat. Ennek következtében a kiküldött pozíció értékben is nagy hiba lehet.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. bit (LSB)		■		■		■		■		■		■		■		■
2. bit			■	■			■	■			■	■			■	■
3. bit					■	■	■	■					■	■	■	■
4. bit (MSB)									■	■	■	■	■	■	■	■

1. táblázat – Bináris kód

A kiolvasás biztonságosabbá tételének érdekében a kódtárcsára a kódsávokon kívül újabb koncentrikus sávot szoktak elhelyezni, amellyel a kódot paritás bittel egészítik ki. Az abszolút forgójeladóban minden kódsávhoz tartozik egy - egy optikai érzékelő. Az érzékelők jelének feldolgozása és átalakítása után a pozíció kód a kimeneti illesztő áramkörökön keresztül jut a kimenetre.

A bináris kódolású tárcsákat csak kis felbontású, egyszerű felépítésű, olcsó forgójeladóknak használják, ahol a forgás sebessége is kicsi (pl. kézi forgatású kezelőelemek).

A **Gray kód** egy egylépéses kód, ami azt jelenti, hogy az egyik pozícióból a következőbe, vagy megelőzőbe lépve a kódban csak egy bit változik.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. bit (LSB)		■	■			■	■			■	■			■	■	
2. bit			■	■	■	■					■	■	■	■		
3. bit					■	■	■	■	■	■	■	■				
4. bit (MSB)									■	■	■	■	■	■	■	■

2. táblázat – Gray kód

Az így kódolt tárcsák kiolvasásánál esetlegesen fellépő hiba lényegesen kisebb, mint a bináris kódolásúnál, tehát megbízhatóbb pozíció mérést eredményez. Ezt a kódolási módszert használják a legtöbb optikai érzékelésű abszolút forgójeladóban.

A legáltalánosabban gyártott egyfordulatú abszolút forgójeladók fordulatonkénti felbontása 12 bit (4096), 13 bit (8192), 14 bit (16384). Alkalmazási területük - a kis méréstartomány miatt - a nem teljesen körbe forgó tengelyek elfordulási szögének mérése (pl. robotkarok).

Az abszolút jeladó egy körülfordulása csak korlátozott mérési tartományt biztosít. A mérési tartomány kibővítését úgy lehet egyszerűen megoldani, hogy a jeladó tengely körülfordulásainak számát is abszolút módon kell mérni. A több fordulatú abszolút mérés megvalósításához például egy, vagy több további abszolút kódtárcsa szükséges, mely(ke)t a jeladó tengelye áttételen keresztül hajt meg. A leolvasási és kiértékelési módszer megegyezik az egy fordulatú jeladónál már ismertetettel.

Az abszolút optikai forgójeladóknak leggyakrabban alkalmazott kimenetek a következők:

- párhuzamos kimenetek – bináris kód, Gray kód, BCD (Binary Coded Decimal) kód
- soros kimenetek - RS485, SSI (Synchronous Serial Interface), EnDat, Profibus, CAN bus.

Az egyfordulatú abszolút forgójeladóknak általában párhuzamos, de egyre gyakoribb a soros interfész, főleg az SSI alkalmazása is.

A többfordulatú (multiturn) abszolút forgójeladók felbontása igen különböző, leggyakoribb változata 12 biten méri a körülfordulások számát, vagyis 4096 körülfordulást képes mérni. A körülfordulásonként 12 bit (4096) felbontással, ez összesen 24 bites kimenő kódot eredményez, amihez még hozzá adódik a paritásbit, vagy más hibajelző bit(ek). Mivel a kimenő kód bitszáma nagy, a párhuzamos kimenet áramköri költsége, a sokpólusú csatlakozó ára, valamint a nagy érszámú speciális árnyékolt kábel költsége is jelentős, a többfordulatú abszolút forgójeladóknak ezért nem jellemző a párhuzamos kimenő interfész alkalmazása, hanem valamilyen soros interfészt használnak. A leggyakrabban az SSI interfészt használják, de gyorsan terjednek a különböző ipari busz rendszerekhez kapcsolódó interfészek is.

Mágneses abszolút forgójeladók

A mágneses elven működő abszolút forgójeladók működési elve és mechanikai kialakítása általában nem különbözik az inkrementális változatokétól. A belső felépítésükben az eltérés a leolvasó fejek számában, elrendezésében, valamint az interface áramkörökben található.

A többfordulatú mágneses abszolút forgójeladóknak általában több fokozatú mechanikai (fogaskerék) áttételt használnak a fordulatok számlálására.

A mágneses abszolút forgójeladók kimenő áramkörei - a kompatibilitási törekvések miatt - megegyeznek az optikai abszolút forgójeladókkal használtakkal.

Rezolver (indukciós abszolút forgójeladó)

Az abszolút forgójeladók egyik gyakran – főleg szervomotorokban - használt változata a rezolver. A rezolver egy szöghelyzet érzékelő, amely méri egy körülforduláson belül forgó tengely pillanatnyi szöghelyzetét.

A rezolver mechanikai felépítése tipikusan egy kisméretű motorra hasonlít, amely rendelkezik egy forgórészsel (melyet a mérendő tengelyhez kapcsolnak) és egy állórészsel, mely a kimenő jelet produkálja.

A rezolver által szolgáltatott jel arányos a tengely elfordulás szögének szinuszával és koszinuszával. Mivel az elfordulás során minden szöghelyzethez a szinusz és koszinusz értékek egyedi kombinációja tartozik, a rezolver egy teljes körülforduláson belül (360°) abszolút szöghelyzet mérésre alkalmas.

Az előzőekből következik, hogy a rezolver ciklikusan abszolút forgójeladó.



2. (a-b) ábra - Rezolverek

Villamos szempontból nézve a rezolver egy transzformátor, amelyben a csatolás a primer tekercs és a két szekunder tekercs között úgy változik, mint a forgórész szöghelyzetének szinusza és koszinusza.

A hagyományos rezolvereknél a forgórészen a primer és az állórészen a szekunder tekercsüket helyezik el (ez azt jelenti, hogy kefék és csúszógyűrűk szükségesek a primer jel átvitelére).

Újabban egyre több kefe mentes rezolvert gyártanak, ahol a primer tekercs gerjesztését egy forgó transzformátoron keresztül végzik, a szekunder tekercselések továbbra is az állórészen találhatóak. Mint minden transzformátornál, a rezolvernél is szükség van egy primer oldali gerjesztő (excitation) jelre – melyet referencia jelnek is szoktak nevezni. A referencia jel amplitúdójának modulációja adja a kimenő jelet a két egymásra merőleges elrendezésű szekunder tekercsben. A moduláció a forgórész szögének szinusza és koszinusza szerint történik. A legjobb hatásfok miatt célszerűen a referencia jel egy szinuszhullám.

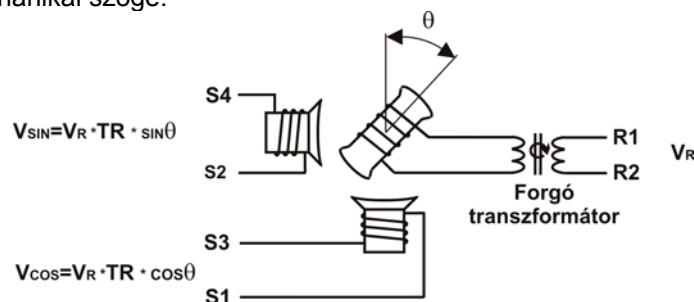
Minden transzformátorra jellemző egy viszonyszám, amely megmutatja a szekunder feszültség és a primer feszültség közötti összefüggést. Ezt az értéket áttételnek (TR) hívják a rezolvereknél is és a primer és szekunder közötti maximális csatolási értékre vonatkoztatják.

Ha a referencia feszültséget $V_R = V_{(R1-R2)}$ -ként definiáljuk, akkor a feszültséget a szekunder tekercseken a következő egyenletek adják:

Szinusz szekunder feszültség: $V_{(S2-S4)} \equiv V_{SIN} = V_R \cdot TR \cdot \sin \theta$

Koszinusz szekunder feszültség: $V_{(S1-S3)} \equiv V_{COS} = V_R \cdot TR \cdot \cos \theta$

ahol θ a forgórész mechanikai szöge.



3. ábra - Kefe nélküli rezolver elvi kapcsolási rajza

A forgórész szöghelyzetétől függő kimenő jeleket egy speciális „Resolver to Digital” konverter áramkörbe vezetve, a konverter kimenetén digitális formában rendelkezésre áll a forgórész pillanatnyi szöghelyzete. Ez a digitális (10, 12, 14, 16 bites, párhuzamos) adat használható fel a feldolgozó elektronikában a pozíció, vagy a szöghelyzet meghatározására.

A rezolver külön tápfeszültséget nem igényel, a működéséhez szükséges referencia jelet a feldolgozó elektronika szolgáltatja. Amennyiben a feldolgozó elektronika jól működik, a rezolver bekapcsolás után azonnal az abszolút szöghelyzet, vagy pozíció értéket szolgáltatja.

Mivel a rezolver csak egy körforduláson belül abszolút - az optikai és mágneses elven működő forgójeladókhöz hasonlóan - a fordulatok számlálását áttételen keresztül további rezolver(ek) végzi(k).

Potenciométeres forgójeladók

A vezérléstechnika gyors fejlődésének és széleskörű elterjedésének következményeként igény támadt olyan érzékelőkre, melyek olcsóak, villamos és mechanikus szempontból egyszerűek, robusztusak, széles hőmérséklet tartományban ($-40..+160\text{ C}^\circ$) működőképeseek, abszolút út, vagy szögmérésre használhatók. Ezeknek az igényeknek a potenciométerek bizonyos fajtái megfelelnek.

A gyártástechnológiából adódóan elsősorban a vezető műanyagos ellenállás pályával rendelkező potenciométerek felelnek meg erre a célra. A vezető műanyagos potenciométerek csúszkája csak minimális mértékben ($1-10\ \mu\text{A}$) terhelhető, ezért nagy bemenő impedanciájú áramkörhöz kell csatlakoztatni (pl. műveleti erősítő).

A továbbiakban az ilyen gyártástechnológiával készült potenciométerekről beszélünk.

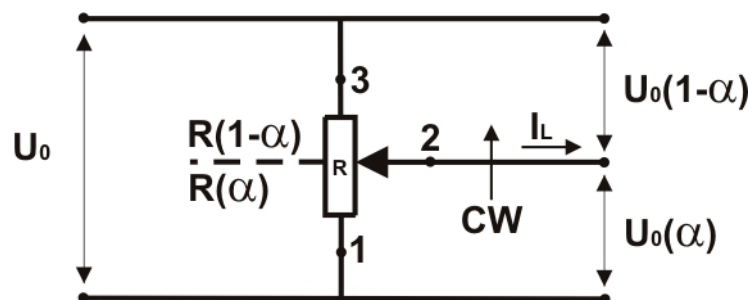
A potenciométer a következő részekből áll:

- Az ellenállás pálya (hordozó anyag + ellenállás sáv vezető műanyagból)
- A csúszka (precíziós fém ötvözetből)
- A meghajtó tengely
- Csapágyazás (golyós csapágy, vagy csúszó csapágy)
- Ház (tokozás)



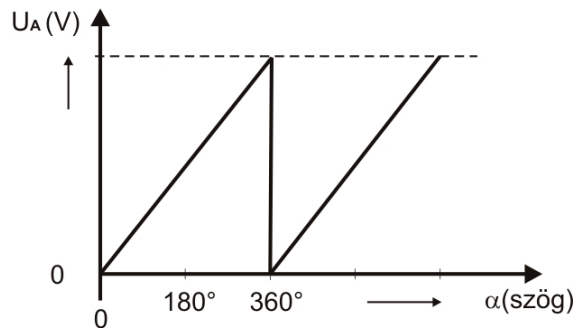
4. ábra (a-b-c-d-e) - Út és szöghelyzet mérésre használt ipari potenciométerek

Ha a potenciométróról szenzorként beszélünk, akkor elsősorban feszültség osztóként kell rá gondolni és nem változtatható ellenállásként.



5. ábra - Feszültség osztó

A hagyományos végállással rendelkező potenciométerek mellett, út (szögelfordulás) méréséhez gyakran használják a teljesen körbe forgó potenciométereket. Ezeknél a potenciométereknél az elektromos átfogás általában 355° , de készítenek olyan változatokat is, melyek 360° - os átfogással rendelkeznek.



6. ábra - Körbe forgó potenciométer kimenő jele

Ezeknél a típusoknál kettős csúszkát használnak, amelyek átfedik egymást és egy beépített elektronika segítségével kezelik az átfedést. A pontos „0” átmenet kezeléséhez külön „Reset” jelet is szolgáltatnak. A körbe forgó potenciométereket felhasználgják több fordulatu útmérésre is olyan módon, hogy a potenciométert egy fogaskerék áttétellel szerel házba építik be. A házból kinyúló tengely és a potenciométer közé 1:3, 1:5, 1:10 áttételt szerelnek. Az alkalmazott áttétel holtjáték mentes.

Mechanikai kivitelben és az elektromos kialakításban is különböző változatokat találunk még egy gyártó választékában is, ezért a kiválasztásnál körültekintően kell eljárni.

A legfontosabb mechanikai paraméterek:

- a rögzítés módja (szervoperemes, központi menetes),
- a tokozati mérete,
- a védettség (IPxx),
- a csapágyazás (golyós, csúszó)
- a csúszka mozgása mechanikusan korlátozott ($270^\circ - 310^\circ$), vagy körbeforgó
- áttétel van, vagy nincs

A legfontosabb elektromos paraméterek:

- ellenállás
- az elektromosan átfogott tartomány ($270^\circ - 3600^\circ$)
- maximális csúszka terhelhetőség
- linearitás
- felbontás
- hiszterézis
- hőmérsékleti együttható
- élettartam
- az elektromos csatlakozás módja (csatlakozós, forrfüles, forrasztható csapos)

A potenciométeres útmérők minőségét az alábbi tényezők határozzák meg:

A **linearitás** a potenciométeres útmérők (szögelfordulás mérők) nagyon fontos paramétere, mivel a bemenő jelként szolgáló elmozdulással (elfordulással) arányos, lineáris kimenő jelre van szükség. Az elméleti lineáris viszonytól való eltérést független linearitási hibának hívják. A linearitási hibát a kimeneti feszültség elméleti értékétől való eltérésének százalékában adják meg. Mivel ez az érték a teljes méréstartományban változik, ezért ezt csak grafikusán lehet jól ábrázolni. A gyári specifikációkban a maximális eltérést, vagy az átlagos eltérést adják meg.

Tipikus értéke: 0,02 % - 0,5 %.

A **felbontás** függ a vezető műanyag ellenállás pálya anyagának homogenitásától, a szemcsemérettől, a csúszka érintkező felületének párhuzamosságától, és a csúszka áramtól.

Tipikus értéke: $1/1000^\circ$

A **hiszterézis** mértékét a kimenő jel értékének különbsége adja meg akkor ha, egy meghatározott pozíciót az egyik irányból közelítjük és eljünk, majd túlhaladva a pozíciót a másik irányból közelítjük meg és érjük el. A hiszterézist főként mechanikai okok befolyásolják: a csapágyazás, a csúszka merevsége és a csúszka és az ellenállás pálya súrlódási együtthatója. Ezért nagy figyelmet kell fordítani a holtjáték mentes, merev mechanikai csatlakoztatásra.

Tipikus értéke: $1/1000^\circ - 5/1000^\circ$

Az **ismétlési pontosság** azt mutatja meg, hogy egy adott pontot bármely irányból közelítve milyen pontosan érünk el. Értéke: $(2 \times \text{felbontás} + \text{hiszterézis})$

A **hőmérsékleti együttható** (T_k) megmutatja, hogy mekkora a névleges ellenállás értékének változása a hőmérséklet hatására. Ez az érték tokozatlan, vezető műanyagos potenciométerek esetén kisebb mint $200 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Megfelelő tokozással és feszültség osztóként felhasználva a potenciométert ez az érték $5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ alá csökkenthető.

Az **élettartam** ipari alkalmazások szempontjából nagyon fontos paraméter. Az élettartam vizsgálata egyáltalán nem szabványosított, mivel nagy mértékben függ a csúszka és az ellenállás pálya érintkezési ellenállásától és olyan külső tényezőktől, mint a hőmérséklet, páratartalom, mechanikai és kémiai behatások, a csúszka terhelőárama, stb. Ezek az értékek nagyon különbözőek lehetnek függően az egyedi alkalmazástól. A különböző gyártók élettartam adatai más – más vizsgálati körülmények között születnek, ezért összehasonlításuk a pontos vizsgálati módszer ismerete nélkül nem célszerű. Egy viszonylag elfogadott teszt eljárásban oda – vissza irányú, kis csúszka mozgásokkal (2° - 5°) tesztelnek 60 – 120 Hz-es frekvenciával. Ez a vizsgálati eljárás viszonylag gyors eredményt ad, mivel 24 óra alatt 5 – 10 millió ciklust hajthatnak végre. A teszt közben és végén vizsgálják a csúszka és az ellenállás pálya közötti érintkezést és az ellenállás pálya folytonosságát.