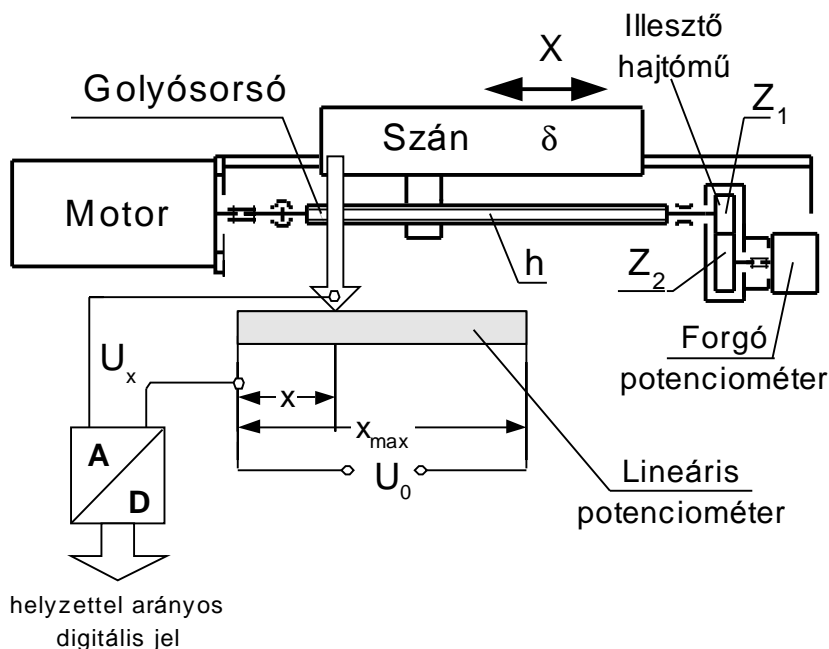


3. Analóg útmérők

Az analóg útmérők érzékelője az elmozdulással arányos, folytonos jelet ad, melyet a CNC vezérlések számára minden esetben digitális jellé kell alakítani. Az érzékelők működési elve többféle lehet. A lineáris és a forgó potenciométerek az elmozdulással arányos *ellenállás-változás*, míg a rezolverek és az induktoszinok a *villamos indukció* elvén működnek.

3.1. Potenciométerek

A legegyszerűbb **abszolút analóg** útmérő eszközök, a **potenciométerek** az elmozdulással arányos ellenállás változást használják fel jelképzésre. **Közvetlen** mérésre **lineáris potenciométerek**, míg **közvetett** mérésre a **forgó potenciométerek** alkalmasak.



19. ábra

A 19. ábra a potenciométerek alkalmazási lehetőségeit mutatja. Közvetlen mérés esetén a lineáris potenciométer csúszkája által meghatározott feszültség az elmozdulással arányos:

$$U_x = U_0 \cdot \frac{x}{x_{max}}$$

A d útegységnek megfelelő felbontáshoz az analóg-digitál átalakítót (A/D)

$$i = \left\lceil \log_2 \frac{x_{max}}{d} \right\rceil_{\text{egész}} + 1 \text{ bitszámúra kell választani.}$$

A közvetett méréshez alkalmazható forgó potenciométer esetében hasonló feladatokat kell megoldani azzal a kiegészítéssel, hogy a potenciométer maximális elfordulási szögét a legnagyobb szánelmozduláshoz kell rendelni. Ezt az illesztő hajtómű hajtóviszonyának megfelelő megválasztásával lehet elérni, amely a 19. ábra alapján:

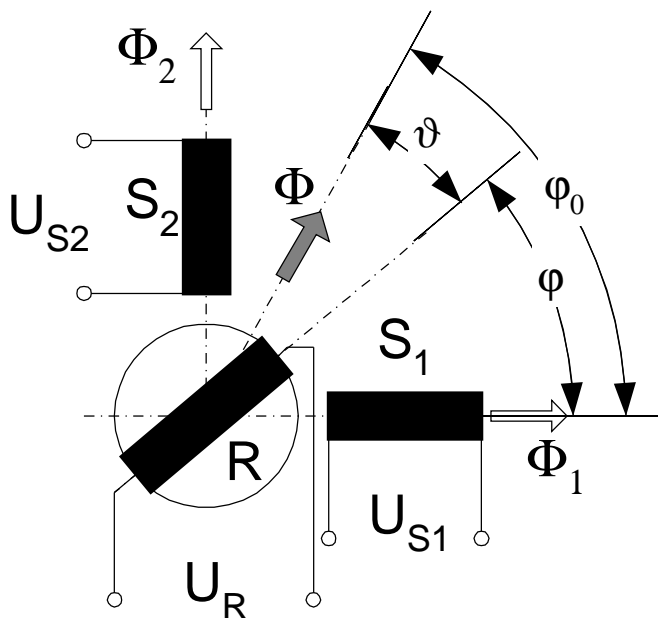
$$k = \frac{h \cdot j_{\max}}{2p \cdot x_{\max}}, \text{ ahol } \varphi_{\max} \text{ a potenciométer legnagyobb elfordulási szöge}$$

radiánban kifejezve.

A potenciométerek útmérésre való alkalmazásának jellemzője, hogy a felbontóképesség az A/D átalakító csatornaszámától függ, de meghatározóak a potenciométer minőségi jellemzői is (linearitás, hőmérséklet stabilitás, érzékenység, átmeneti ellenállás változás a csúszka érintkezésénél, stb.). Szerszámgépek esetében nem használják önálló útmérőként a potenciométereket csak esetleg más útmérőkkel kombinálva. Más eszközöknél, pl. nyomtatók, plotterek esetében az alkalmazásuk inkább lehetséges, mert itt előnyös a viszonylagos olcsóságuk, s minőségi jellemzőik a feladatnak jobban megfelelnek.

3.2. Rezolver

A szerszámgépek, robotok pozicionáló egységeiben a leggyakrabban alkalmazott szögelfordulást mérő analóg útmérők a **rezolverek**. A villamos indukció elvén működnek, ezt mutatja a 20. ábra.



20. ábra

A rezolver kétfázisú állórészre kettő, egymással 90^0 -os szöget bezáró S_1 és S_2 tekercsből áll. A mérés során a forgórész R tekercsében a szöghelyzettel arányos jellemzőjű feszültség indukálódik.

Legyenek az állórész tekercsek gerjesztő feszültségei:

$$U_{S1} = U_1 \cdot \sin \omega t$$

$$U_{S2} = U_2 \cdot \sin(\omega t + a)$$

ahol ω a vivő körfrekvencia, a pedig a gerjesztő feszültségek közötti fáziseltérés.

A 20. ábra jelöléseit figyelembe véve a forgórészben indukálódó feszültség:

$$U_R = k \cdot (U_{S1} \cdot \cos j + U_{S2} \cdot \sin j), \text{ ahol } k \text{ a csatolási tényező}$$

Figyelembe véve, hogy a gerjesztő feszültségek $\omega=2\pi f$ körfrekvenciája állandó, az indukált feszültség amplitúdója, vagy a fázisa alkalmas a mért elmozdulás leképezésére. A gerjesztő feszültségek megfelelő megválasztásával a rezolver **amplitúdó-analóg** ($\alpha=0$), illetve **fázis-analóg** ($\alpha=90^\circ$) kapcsolásban üzemeltethető.

3.2.1. Amplitúdó-analóg kapcsolású rezolverek

Válasszuk az állórész tekercsek gerjesztő feszültségeit az alábbiak szerint a 20. ábra jelöléseit használva:

az amplitúdók legyenek

$$U_1 = U_0 \cdot \cos j_0$$

$$U_2 = U_0 \cdot \sin j_0$$

ahol U_0 a feszültség amplitúdója, φ_0 a kívánt célhelyzetet kijelölő szög, s ezzel a fázistekercsek gerjesztő feszültségei:

$$U_{S1} = U_0 \cdot \cos j_0 \cdot \sin \omega t$$

$$U_{S2} = U_0 \cdot \sin j_0 \cdot \sin \omega t$$

Az U_{S1} és U_{S2} feszültségek azonos fázishelyzetűek, az S_1 , S_2 tekercsek a térben 90° -os szöget zárnak be egymással, ezért az állórészben egy a φ_0 irányba mutató, f frekvenciával **lökötető** álló **fluxus** jön létre (Φ). A forgórész tekercsében indukálódó feszültség, U_R a 20. ábrán vázoltak alapján:

$$U_R = k \cdot U_0 (\cos j_0 \cdot \cos j + \sin j_0 \cdot \sin j) \cdot \sin \omega t$$

$$U_R = k \cdot U_0 \cdot \cos(j_0 - j) \cdot \sin \omega t$$

Behelyettesítve a

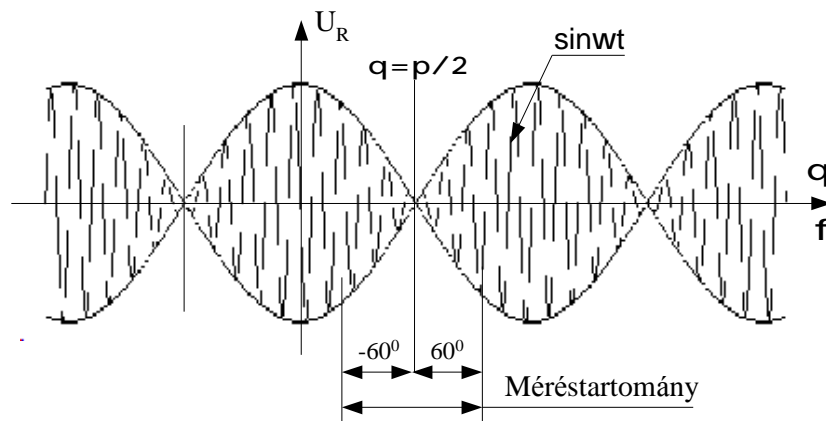
$$J = j_0 - j$$

összefüggést a **forgórészben indukált feszültség** az alábbi szerint írható:

$$U_R = k \cdot U_0 \sin\left(\frac{p}{2} - J\right) \cdot \sin \omega t$$

A 21. ábra a fenti egyenlet szerint az U_R forgórész feszültség változását mutatja a rotor szögelfordulása (φ) illetve a célhelyzettől (φ_0) való elmaradás (J) függvényében. Az indukált feszültség akkor válik zérussá, ha a rotor a célhelyzet irányával 90° -os szöget zár be, vagyis

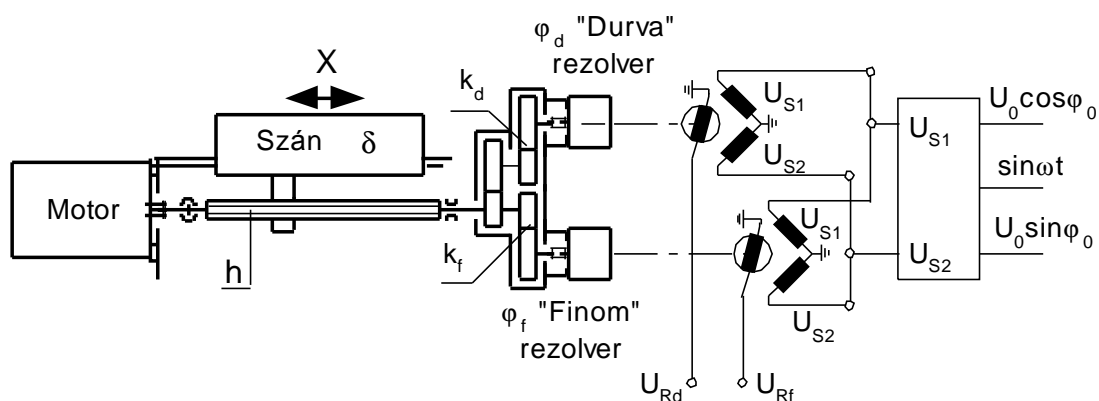
$$j = j_0 \pm \frac{p}{2} \text{ illetve } J = \pm \frac{p}{2}.$$



21. ábra

A gerjesztő feszültségek célhelyzetnek megfelelő amplitúdóját egy alkalmas elektronika állítja elő. A forgórészben indukált feszültség a mérésstartományon belül a kijelölt célhelyzettől való elmaradással arányos, tehát **a rezolver hibajel képző**ként működik. Ebben a kapcsolásban a mérésstartomány a még megfelelő linearitás mellett körülbelül $\pm 60^\circ$, tehát a leképezhető elmozdulás egy rezolver alkalmazása esetén csupán néhány milliméter.

Két rezolver alkalmazásával már nagyobb elmozdulások is mérhetőek a megfelelő pontossággal. Egy ilyen **közvetett, abszolút, analóg** mérési megoldást mutat a 22. ábra.



22. ábra

Két rezolver alkalmazásakor az ún. "durva" rezolver a teljes elmozdulási tartományban mér. Az illesztő hajtómű k_d hajtóviszonyát úgy kell meghatározni, hogy a szán teljes elmozdulása során a "durva" rezolver forgórészének szögelfordulása a mérésstartományának megfelelően 60° legyen, vagyis:

$$X \cdot \frac{2p}{h} \cdot k_d = j_a = \frac{p}{3} L L \text{ ebből}$$

$$k_d = \frac{h}{6X}$$

Jelöljük a rezolver mérési bizonytalanságát, vagy analog felbontóképességét Dj_R -rel. Ezzel a durva rezolverrel mérhető legkisebb elmozdulás (DX):

$$DX = \frac{h \cdot Dj_R}{2p \cdot k_a}$$

A "finom" resolver illesztő hajtóviszonyát a mérendő legkisebb útegység (d), és a rezolver bizonytalanságának (Dj_R) ismeretében kell meghatározni. A hajtóviszony értéke:

$$d \cdot \frac{2p}{h} \cdot k_f = Dj_R \cdot L \text{ és } L \cdot k_f = \frac{Dj_R \cdot h}{2p \cdot d}$$

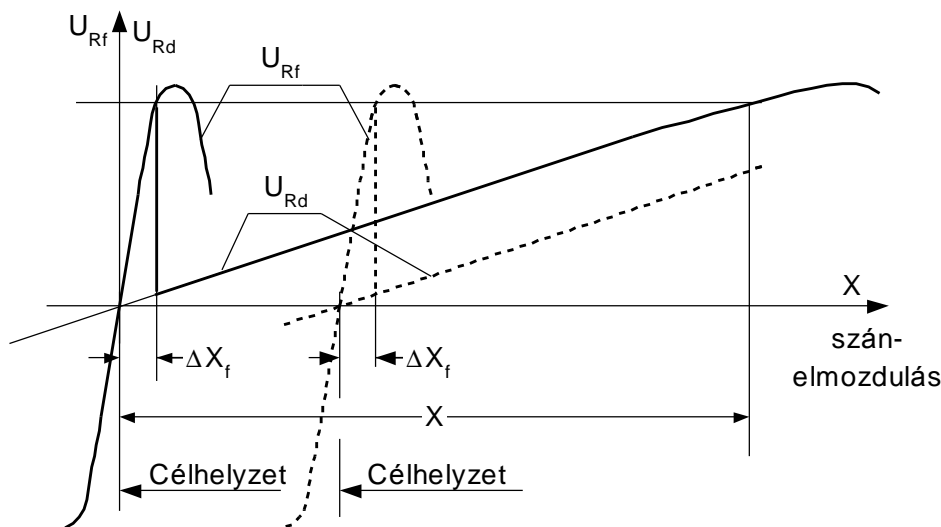
A finom resolverrel leképezhető elmozdulás (DX_f):

$$DX_f = \frac{h}{6 \cdot k_f}$$

A rezolverek illesztése akkor megfelelő, ha a finom rezolver méréstartományára leképezhető elmozdulás nagyobb, mint a durva rezolverrel mérhető legkisebb elmozdulás, vagyis:

$$DX_f > DX$$

Az elmozdulás függvényében a hibajelek változását a 23. ábra mutatja.

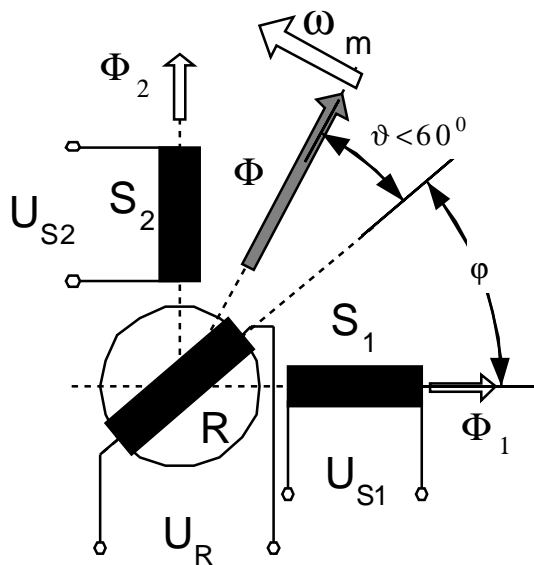


23. ábra

Az ábra alapján az abszolút mérés folyamata a következő:

Az elektronika a célhelyzet függvényében meghatározza a rezolverek gerjesztő feszültségeihez a $j_{of} = j_{od} = j_0$ célhelyzeti szögeket. A mozgás során a finom rezolver több fordulatot tehet, míg a durva rezolver elfordulása $\pm 60^\circ$ -on belül marad. A célhelyzet előtt legfeljebb ΔX_f távolságra a mérőrendszer átkapcsol a finom rezolverre, amely a célig az elmozdulást az útegységnek megfelelő felbontással méri.

Nagy elmozdulások mérése egy rezolver felhasználásával **ciklikusan abszolút** kapcsolásban lehetséges. Ebben az esetben az állórész tekercsek gerjesztő feszültségeinek amplitúdója nem állandó, hanem azt a vezérlés folyamatosan változtatja az előírt mozgási sebességnek megfelelően. Természetesen ekkor biztosítani kell, hogy a rezolver forgórész elmaradási szöge (J) az eredő fluxus vektor pillanatnyi helyzetétől mindig kisebb legyen a rezolver méréstartományánál, 60° -nál. A 24. ábra a ciklikusa abszolút kapcsolást mutatja.



24. ábra

Az állórész tekercsek feszültsége:

$$U_{S1} = U_0 \cdot \cos(w_m t) \cdot \sin wt$$

$$U_{S2} = U_0 \cdot \sin(w_m t) \cdot \sin wt$$

ahol w_m a rezolver forgórészének a mért mozgás sebességéből számított szögsebessége.

Az indukált feszültség (U_{RC}):

$$U_{RC} = k \cdot U_0 (\cos(w_m t) \cdot \cos j + \sin(w_m t) \cdot \sin j) \cdot \sin wt$$

$$U_{RC} = k \cdot U_0 \cdot \cos(w_m t - j) \cdot \sin wt$$

Behelyettesítve a

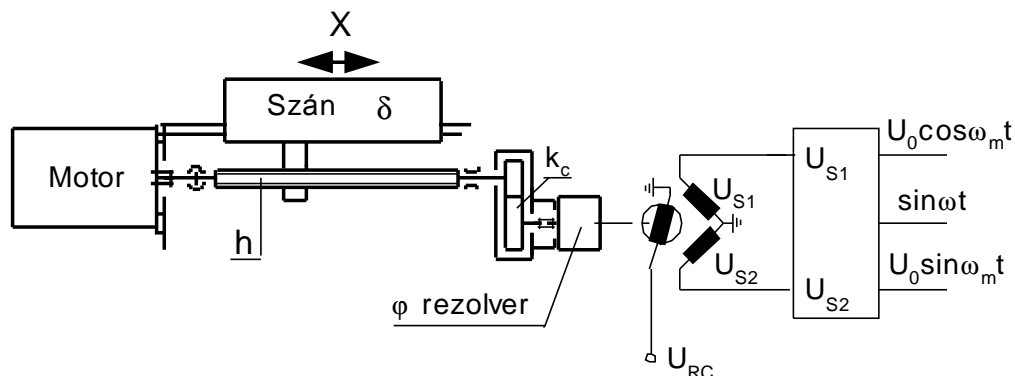
$$J = w_m t - j$$

összefüggést a **forgórészben indukált feszültség** az alábbi szerint írható:

$$U_{RC} = k \cdot U_0 \sin\left(\frac{p}{2} - J\right) \sin wt$$

Az egyenletből látható, hogy a ciklikusan abszolút kapcsolás is hibajel képző az abszolút méréshez hasonlóan, csak a célpont kijelölése a statikussal szemben itt dinamikus. Az indukált feszültség jellege itt is a 21. ábrán bemutatottnak megfelelő.

A közvetett, ciklikusan abszolút, amplitúdó-analóg mérés vázlatát a 25. ábra mutatja.



25. ábra

Az U_{RC} forgórész feszültség a pillanatnyi célhelyzettől való elmaradással arányos hibajel. A vezérlés alapjel képző egysége generálja folyamatosan az elmozdulás parancsot, melyből a mérőrendszer állítja elő a folyamatosan változó amplitúdójú gerjesztő feszültségeket, melynek ω_m körfrekvenciája a szánsebesség függvénye:

$$\omega_m = v_{sz} \frac{2p}{h} k_c,$$

ahol v_{sz} a szán mozgási sebessége, k_c pedig a rezolver illesztő hajtóműnek az inkrement illesztés alapján meghatározott hajtóviszonya:

$$k_c = \frac{Dj_R \cdot h}{2p \cdot d}$$

A ciklikusan abszolút amplitúdó-analóg kapcsolású rezolver méréstartományára leképezhető szánelmozdulás:

$$DX_C = \frac{h}{6 \cdot k_c}.$$

A rendszer akkor működik helyesen, ha a szánmozgató pozicionáló rendszer követési hibája a legnagyobb sebességnél sem nagyobb, mint a méréstartományra leképezhető elmozdulás, ΔX_C .

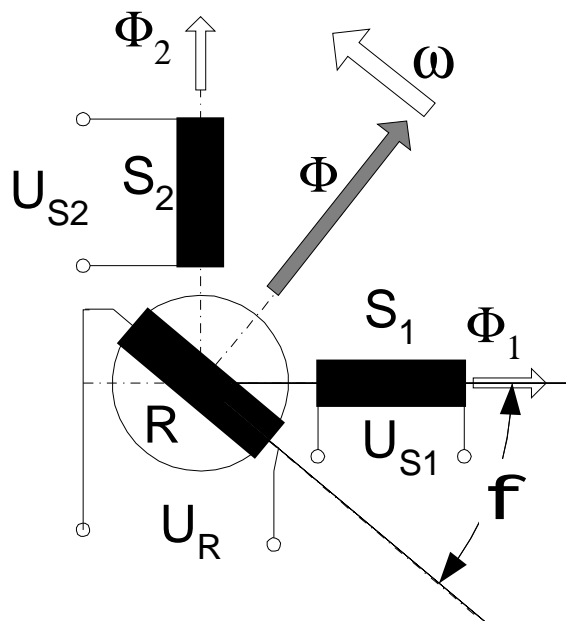
3.2.2. Fázis-analóg kapcsolású rezolverek

A rezolverek másik jellegzetes kapcsolási módja az ún. **fázis-analóg** kapcsolás. Ekkor az állórész tekercsek gerjesztő feszültségeinek fázisszöge 90° , tehát:

$$U_{S1} = U_0 \cdot \sin \omega t$$

$$U_{S2} = U_0 \cdot \cos \omega t$$

ezzel az állórészben egy ω szögsebességgel **forgó**, U_0 amplitúdójú **gerjesztésvektor** keletkezik (26. ábra).



26. ábra

A forgórészben indukálódó feszültség amplitúdója állandó, csak a **fázisa** függ a forgórész szöghelyzetétől.

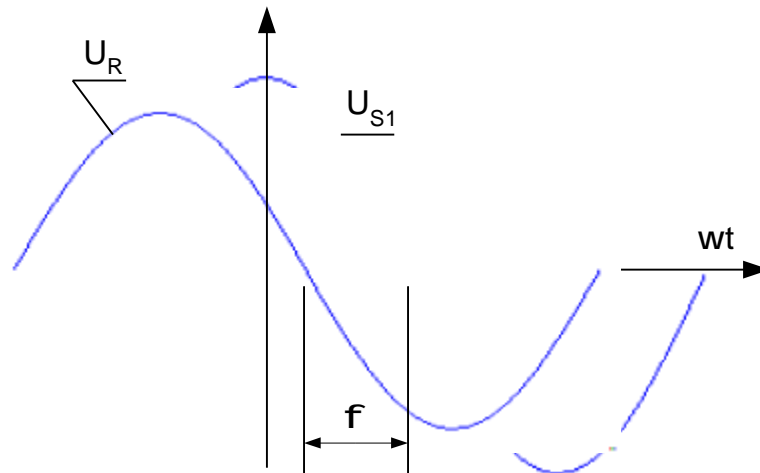
$$U_{Rf} = k \cdot U_0 (\sin \omega t \cdot \cos j + \cos \omega t \cdot \sin j)$$

$$U_{Rf} = k \cdot U_0 \sin(\omega t + j)$$

Ebben a kapcsolásban a rezolver méréstartománya $\pm 180^\circ$.

A 27. ábra a feszültség és fázis viszonyokat mutatja. Az S_1 tekercs U_{S1} gerjesztő feszültségéhez képesti fázishelyzete a rotor feszültségnek a φ szöggel arányos, vagyis a mechanikai szög villamos szöggént képződik le.

Egy rezolverrel egy egyszerű fázisanalóg kapcsolásban is korlátozott a mérhető elmozdulás nagysága (csak néhány mm). **Több rezolvert** alkalmazva, hasonlóan, mint az amplitúdó-analóg kapcsolásnál (lásd 22. ábra), **abszolút analóg** rendszert lehet létrehozni.



27. ábra

Egy rezolverrel és megfelelő elektronikával itt is létrehozható a **ciklikusan abszolút, analóg mérőrendszer**, amit szokás a növekményes mérőrendszerek közé sorolni, mert a dinamikus célhelyzet kijelölés növekményes jelfeldolgozási eljárás alapján (számlálás).

Változtassuk az állórész feszültségek fázisát folyamatosan, vagyis legyenek az állórész feszültségek rendre:

$$U_{S1} = U_0 \cdot \sin(\omega t + j_0(t))$$

$$U_{S2} = U_0 \cdot \cos(\omega t + j_0(t))$$

$$j_0(t) = \omega_m \cdot t$$

ahol ω_m a szán mozgási sebességéből számítható.

A forgórészben indukált feszültség:

$$U_{Rfc} = k \cdot U_0 \cdot \sin(\omega t + j_0(t) - j(t))$$

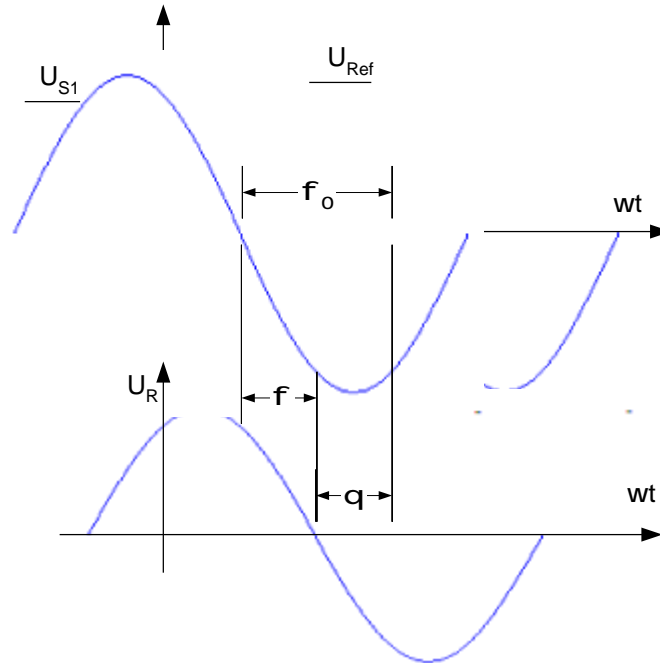
Ezt a jelet összehasonlítva az

$$U_{REF} = U_0 \cdot \sin \omega t$$

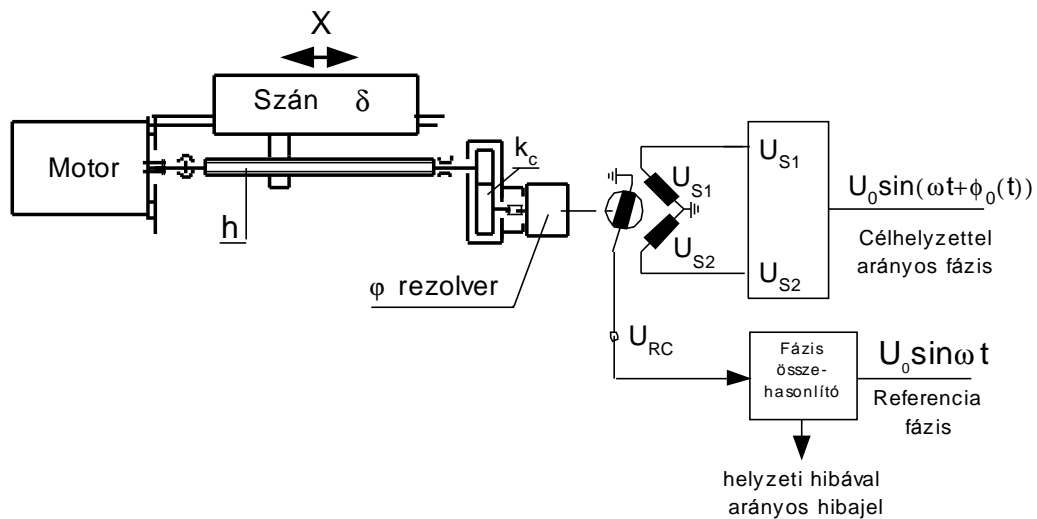
referencia jellel a két jel fáziskülönbsége a pillanatnyi helyzeti hibajellel arányos:

$$J(t) = j_0(t) - j(t)$$

A feszültség és fázis viszonyokat a 28. ábra mutatja, míg a 29. ábrán a mérőrendszer egyszerűsített felépítési vázlatát látható:

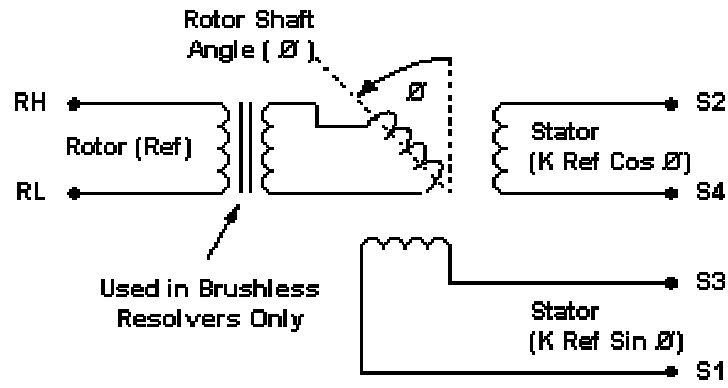


28. ábra



29. ábra

A rezolverek forgórészében indukálódott feszültséget általában egy beépített forgó transzformátor segítségével csatolják ki a csúszógyűrűk alkalmazásának elkerülése érdekében. A transzformátor primér tekercse a forgórészsel együtt forog, a szekunder tekercs pedig az állórészbe kerül beépítésre. A 30. ábra ennek vázlatát mutatja. A 31. ábrán egy megvalósítás látható, ahol jól megfigyelhető a forgó transzformátor beépítése is. Egy rezolver fényképét a 32. ábra mutatja.



30. ábra



31. ábra



32. ábra