



**BUDAPESTI MŰSZAKI és GAZDASÁGTUDOMÁNYI  
EGYETEM**

**Közlekedésmérnöki Kar**

# **VASÚTI JÁRMŰ- MÉRÉSTECHNIKA**

**OKTATÁSI SEGÉDLET**

**1. A metrológia a vasúti jármű-méréstechnikában.  
Méréstechnika**

**Készítette::**

**Dr. Benedek Teofil**  
egyetemi docens

**BUDAPEST**  
**2005**

## A szaktárgyhoz készült oktatási segédletek:

1. A metrológia a vasúti jármű-méréstechnikában. Méréstechnika
2. A metrológia a vasúti jármű-méréstechnikában. Méréselmélet
3. Futástechnikai mérések
4. Menetdinamikai és energetikai mérések
5. Féktechnikai mérések
6. Szilárdsági mérések
7. Számpéldák a Vasúti Járműméréstechnika tárgyhoz

# 1. A metrológia a vasúti jármű-méréstechnikában. Méréstechnika

## Tartalom :

- 1.1 Metrológiai alapok
  - 1.1.1 A mérés célja
  - 1.1.2 A méréssel vizsgált fizikai jelenség
  - 1.1.3 Időben állandó és változó mennyiségek
- 1.2. A vasúti járműmérések feladata
- 1.3. Méréstechnika: mérőberendezések, mérőrendszerek
  - 1.3.1 Mérőérzékelők, jelátalakítók
  - 1.3.2 Mérőerősítők
    - 1.3.2.1 A mérendő jellemzőt egyetlen bélyeg érzékeli
    - 1.3.2.2 A mérendő jellemzőt két bélyeg érzékeli
    - 1.3.2.3 Hajlítónyomaték mérése négy bélyeggel, a húzóerő hatásának kiszűrése
    - 1.3.2.4 Húzó-nyomó terhelés mérése négy bélyeggel, a hajlítás jelének kiszűrése
  - 1.3.3 Jelrögzítő berendezések
    - 1.3.3.1 Grafikus jelrögzítő berendezések
    - 1.3.3.2 Mágneses jelrögzítő berendezések
  - 1.3.4 A jelek szűrése
    - 1.3.4.1 Analóg jelek szűrése
    - 1.3.4.2 Digitális jelek szűrése
  - 1.3.5 Mérési adatgyűjtő rendszerek

## Felhasználható irodalom:

1. Dr. Simonyi Alfréd: Vasúti járművek vizsgálata. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1977. J7-860.
2. Thamm - Ludwig - Huszár - Szántó: A szilárdságtan kísérleti módszerei. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1968.
3. Ludwig - Szűcs - Thamm - Gyarmathy: laboratóriumi mérések mechanikából. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963. J4-271.
4. Destek Miklós: Pálya - jármű rendszer. Új módszerek a vasúti pálya és jármű rendszerszemléletű vizsgálatára. KÖZDOK, Budapest, 1976.
5. Jens Trample Broch: Messungen von mechanischen Schwingungen und Stößen. Die Anwendung der Brüel & Kjaer Meßsysteme. Brüel & Kjaer, Danmark. 1970.
6. Hottinger Baldwin Messtechnik. Product Catalogue 1999. Magyarországi képviselő: 2101. Gödöllő, Remsey krt. 9. Pf: 81.
7. Zobory, I. – Benedek, T. – Győry, J.: Járműdiagnosztika. Oktatási degédlet. 2005.
6. Dr. Sostarics Gy., Dr. Balogh V.: Vasúti járművek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1991.
7. Tfirst Gy.: A vasúti járművek futásminősítésének időszerű kérdései. Járművek, Mezőgazdasági Gépek. 30. évfolyam 1983. 10. szám.
8. Dr. Ambrózy András – Jávor András: Mérésadatok kiértékelése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
9. Gabor C. Temes – Sanjit K. Mitra: Modern Filter Design and Theory. John Wiley, New York, 1973.
10. Dr. Horváth Károly: Mérnöki Fizika. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
11. Korn, G.A., Korn, T.M.: Matematikai Kézikönyv Műszakiaknak. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.

## 1. A metrológia a vasúti jármű-méréstechnikában. Méréstechnika

Ebben a fejezetben először röviden áttekintjük a mérésekkel foglalkozó tudományág, a **metrológia** legfontosabb alapfogalmait, majd a vasúti járműmérések feladatait. Az alapfogalmak után bemutatjuk a használatos mérőberendezéseket, végül a mérési eredmények értékelési módszereit tekintjük át.

### 1.1 Metrológiai alapok

A metrológia tudománya a mérések technikájával és elméletével foglalkozik.

A mérés abból áll, hogy a megméréndő mennyiséget (pl. egy hosszúságot) összehasonlítunk egy előre meghatározott mértékegységgel (pl. az 1 méter hosszúsággal). A mértékegység elvileg akármekkora lehet, a gyakorlatban olyan értéket választanak, amely egyrészt a mindennapi mérési gyakorlatban előforduló mérendő mennyiségekhez képest lehetőleg nagyon sokkal nem kisebb és nagyon sokkal nem nagyobb, másrészt bármikor reprodukálható elegendően nagy pontossággal (igen csekély százalékos eltéréssel). A mérés során megállapítjuk, hogy hány mértékegység egyenlő a mérendő mennyiséggel, ez a mérőszám. Ezt tekintjük a mérés eredményének.

A mérendő mennyiség és a mértékegység összehasonlításához megfelelő műszerek, mérőberendezések szükségesek, ezekkel a méréstechnika foglalkozik.

Amikor meghatározzuk a mérőszámot, ezt a mérési eredményt mindig valamekkora mérési hiba terheli, a mérési eredményt elméleti pontossággal sohasem ismerjük. A mérési hibák egy része abból ered, hogy a mérőeszköz a mérőszámot csak egy meghatározott számú számjegyig tudja megbízhatóan megadni. Pl. a kézi tolómérő („subler”) legalább 1/20 milliméter (0.05 mm) eltéréssel tudja megadni a mérőszámot (a mért hosszát), tehát a tolómérőről leolvasható értékek pl. 15.65, 15.70, 15.75, stb. milliméter lehet, és ha a mérendő hossz 15.65 és 15.70 milliméter közé esik, a mérési eredményt leolvasónak kell eldöntenie, hogy a 15.65, vagy a 15.70 milliméter értéket tekinti-e mérési eredménynek. Ha viszont a 0.05 mm-en belüli tört-hosszúságot is ismerni kell, akkor nagyobb pontosságú mérőeszközt (pl. mikrométert) kell alkalmazni, amely segítségével a 0.001 mm hosszúságkülönbségek is megbízhatóan leolvashatók. Így tehát ezt a fajta mérési hibát megfelelően nagyobb pontosságú műszerrel megbízhatóan csökkenthetjük.

A mérési hibák másik része így nem csökkenthető. Pl. ha a tolómérő szárait a mérendő testhez szorító erő változik és egy viszonylag könnyen deformálható test hosszát kell megmérni. Más esetben a tolómérő és a mérendő test hőmérséklete eltérhet. Itt meg kell említeni, hogy a hosszmérő műszereket szabványos 20 °C hőmérsék-

letre hitelesítik és ha a mérendő test hőmérséklete ettől eltér, és ez a különbség még változik is az idő folyamán, ez mind úgy befolyásolhatja a mérés eredményét, hogy nem tudhatjuk az így elkövetett mérési hiba nagyságát. Ilyen esetekben megfelelő elméleti értékelési módszerekkel is csak becsülhetjük az elkövetett mérési hibát, tehát a mérési eredményt csak közelítéssel határozhatjuk meg. Ezekkel a módszerekkel a **mérésértékelés** foglalkozik.

A metrológia tudományát ez a két ágazat alkotja: a **méréstechnika** és a **méréselmélet**. A méréstechnika keretében az alkalmazott mérőberendezéseket, mérőrendszereket fogjuk bemutatni (1.3 fejezet), a méréselmélet keretében a mérések értékelési módjait ismertetjük (1.4 fejezet).

### 1.1.1 A mérés célja

A műszaki gyakorlatban végrehajtott méréseknek alapvetően kétféle célja van.

Az egyik cél a félkész, vagy a már elkészült szerkezetek ellenőrzése. Az előbbire példa egy vasúti személykocsi szilárdsági ellenőrző mérése, amelyet az összehegesztett alváz-szekrényváz szerkezeten akkor hajtanak végre, amikor a belső burkolatok, szigetelések, válaszfalak, berendezési tárgyak még nincsenek beépítve. Az utóbbira példa ennek a személykocsinak a futásjósági (futáskényelmi) mérése, amelyet a teljesen készreszerelt járművön kell végrehajtani. Hasonló mérési-ellenőrzési feladat egy mozdony vonóerő-sebesség jelleggörbéinek, illetve üzemanyagfogyasztásának mérési sorozata, amelyet szintén a teljesen elkészült járművön kell végrehajtani.

A mérések másik lehetséges célja a különböző kutatási és fejlesztési munkák eredményeinek az ellenőrzése, továbbá annak az ellenőrzése, hogy a kutatások és fejlesztések eredményeit a gyakorlatban hogyan és milyen mértékben lehet alkalmazni. Például ha egy dízelmozdony fajlagos üzemanyagfogyasztását csökkenteni szükséges, akkor ez – többek között – korszerűbb adagolószivattyúk alkalmazásával lehetséges. A továbbfejlesztett adagolószivattyúk egyes típusait sorban be kell építeni a vizsgált dízelmozdonyba, és mindegyik szivattyú típusal meg kell mérni a mozdony fajlagos üzemanyagfogyasztására jellemző adatokat, jelleggörbéket, hogy a legmegfelelőbb adagolószivattyú-típust ki lehessen választani.

### 1.1.2 A méréssel vizsgált fizikai jelenség

A méréssel vizsgálandó berendezést (pl. az említett adagolószivattyút) abba a környezetbe kell behelyezni a mérés során, amelyben az üzem közben rendeltetésszerűen működni fog, tehát abba a dízelmozdony-típusba, amelyben az üzemelni fog. Ennek az oka, hogy az adagolószivattyú környezete – a gázolaj-tápszivattyú, a dízelmotor, sőt még a hajtómű, a vontatott szerelvény és az előírt menetdinamikai jellemzők is – befolyásolni fogják a maguk mértéke szerint a végeredményt, vagyis a mozdony fajlagos üzemanyagfogyasztását. Általánosságban is igaz, hogy a mérendő objektumot ugyan-

abban a környezetben kell a méréssel ellenőrizni, mint amelyben az rendeltetésszerűen működött eddig és a továbbiakban is.

Ha a fajlagos üzemanyagfogyasztás említett mérési példáját általánosságban a mérendő fizikai jelenségnek tekintjük, akkor a méréssel vizsgált fizikai jelenségeket két fontosabb csoportba sorolhatjuk. Az első csoportba azok a jelenségek tartoznak, amelyeknél a mért fizikai végeredményt teljes mértékben meghatározzák a mérés és működés körülményei. Ha a vizsgált adagolószivattyút a dízelmotorra felszerelve egy próba-teremben mérjük, akkor a dízelmotor egy meghatározott terheléséhez a fogyasztásnak egy és csakis egy számértéke fog tartozni (feltéve természetesen, hogy a mérési jellemzők beállításának és a mért adatok leolvasási ingadozását nem vesszük tekintetbe), tehát a terhelés determinálja a mérés eredményét. Az ilyen mért fizikai jelenséget **determinisztikus** jelenségnek nevezzük.

A másik csoportba azok a fizikai jelenségek tartoznak, amelyeknél a mért eredmény nem mindig ugyanaz, hanem egy bizonyos számérték körül bizonyos korlátok között ingadozik, noha a mérési körülményeket törekszünk olyan mértékben azonosnak beállítani, hogy az esetleges szükségszerű ingadozásaik sokszor kisebbek legyenek a mérési eredmény ingadozásához képest. Ha az előbb említett dízelmotor-adagoló szivattyú együttest beépítjük a vizsgálandó mozdonyba és egy kiválasztott mérési pályaszakaszon, a mérés számára összeállított szerelvényvel végighaladva mérjük az üzemanyagfogyasztást, azt fogjuk tapasztalni, hogy akárhányszor ismételjük is meg a mérést, a mért értékek ingadozni fognak egy bizonyos átlagérték körül, egy meghatározott (nem túlságosan nagy) sávban. Ennek az az oka, hogy noha a mozdony és a vontatott szerelvény ugyanaz, a mozdony terhelését jelentő menetellenállási erő kis mértékben, véletlenszerűen fog változni, ahogy a szerelvény végigfut a vizsgált pályaszakaszon. Az ingadozás változása minden egyes végigfutás során más és más lesz, mert a pálya és a jármű dinamikai jellemzői között olyan jellegzetes kölcsönhatás lép fel, amelyet a [7] forrásműben már bemutatunk. Az ilyen jelenségek esetén tehát a végeredmény nincs teljes mértékben meghatározva (determinálva), a véletlenszerűen változó körülmények miatt ezeket a jelenségeket **sztochasztikus** jelenségeknek nevezzük. Az ilyen jelenségek mérése során a mérési eredmények ingadozásának mértékét és más jellemzőit megfelelő matematikai eszközökkel fogjuk megbecsülni, ezeket a módszereket a mérések értékélésével foglalkozó fejezetekben fogjuk bemutatni.

### 1.1.3 Időben állandó és változó mennyiségek

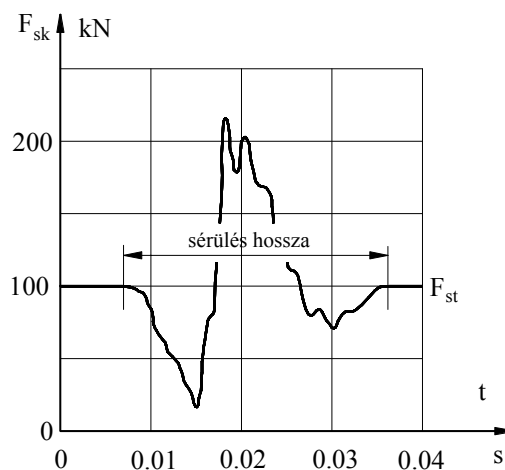
A mérendő mennyiségek az idő folyamán általában változnak, a változás mértéke azonban esetenként igen eltérő lehet. Tegyük fel, hogy egy gyár surlódó tengelykapcsolók számára surlódó betéteket gyárt, és a gyártott termékre jellemző  $\mu$  surlódási együtthatót a gyártott betéteken időről-időre mérésekkel ellenőrzi, hasonló körülmények között, mint ahogy a kész tengelykapcsolókban működnek. A surlódási

erőt előidéző feltételeket (nyomóerő, felületi símaság, stb.) állandó értékeken tartják, ez a tapasztalat szerint eléggé szigorúan meghatározza a mért surlódási együtthatót, és ez az állandó értéken tartott körülmények következtében a mért  $\mu$  érték az időben valóban állandó, illetve eléggé csekély mértékben változik. Így ezt a mennyiséget az **időben állandó mennyiségnek** tarthatjuk.

Viszont ezekre a mérési eredményekre az jellemző, hogy pl. N db surlódó betét ellenőrző mérései során ugyan az egyes betéteken (az  $i$ -ik betéten,  $i = 1, \dots, N$ ) mért  $\mu_i$  surlódási együttható az időben gyakorlatilag valóban állandó:  $\mu_i(t) \cong$  állandó, tehát mondhatjuk, hogy  $\mu_i(t) \cong \tilde{\mu}_i$ ; viszont az egyes betéteken mért  $\tilde{\mu}_i$  értékek között néha meglepően nagy eltérések is lehetnek, mivel az egymáson csúszó, összeszorított felületek között fellépő surlódási viszonyokat sok véletlenszerűen fellépő, sztochasztikus hatás befolyásolja. Ezekkel együtt ezt a mennyiséget (a surlódási együtthatót) időben állandónak tekintjük, és a  $\tilde{\mu}_i$  értékek közötti véletlenszerű eltéréseket megfelelő számítási módszerekkel feldolgozva fogjuk megállapítani a becsült  $\bar{\mu}_i$  várható értéket, amelyet a pontos érték becsült értékének tekintünk (lásd az 1.4.1 fejezetet).

Ennek nem mond ellent az, hogy egy bizonyos üzemidő után a tengelykapcsolóba beépített surlódó betét surlódási együtthatója megváltozik (kopások, stb. következtében), viszont ennek a változásnak a sebessége olyan csekély, hogy esetünkben elhanyagolható, tehát az egyébként nyilvánvaló  $\mu_i(t)$  időfüggvény helyett beérhetjük a becslési számítással kapott  $\bar{\mu}_i$  értékkel.

Más esetekben a mérendő jelenség változása az idő során sokkal intenzívebb. Pl. egy keréksérülésen (keréklaposodáson) átgördülő vasúti kerék és a sín között fellépő függőleges  $F_{sk}$  erőhatás a 1.1. ábrán látható görbéhez hasonló módon változik az idő folyamán:



1.1. ábra



Látható, hogy amíg a kerék ép futófelületen gördül, a sínre (és a kerékre) a jármű statikus súlyának az egy kerékre eső  $F_{st}$  része hat. A kerék sérült felületrészén való át-gördülés viszont az  $F_{st}$  erőhöz képest több, mint kétszeres nagyságú, időben erősen lengő, majd gyorsan csillapodó erőhatást ad hozzá.

Nyilvánvaló, hogy ilyen esetben a mért  $F_{sk}(t)$  erőhatás-függvényt nem lehet egyetlen  $\bar{F}_{sk}$  diszkrét erőhatás-értékkel helyettesíteni, itt az  $F_{sk}(t)$  mérési jel változása, a változás mértéke és sebessége, stb. mind igen fontos mérési eredmény. Az ilyen jelet tehát időben változó jelnek kell tekintenünk. Az értékelés módját az 1.4.2 fejezetben fogjuk ismertetni.

## 1.2 A vasúti járműmérések feladata

A vasúti járműméréseknek az a feladata, hogy egy vasúti járműnek, vagy egy egész vonatnak valamilyen műszaki jellemző értékét meghatározzuk. A méréseket az esetek nagy többségében a valóságos járművön végezzük el, ritkábban a járművek kicsinyített modelljét is vizsgálhatjuk próbapadon. A valóságos léptékű járművek mérését mind a szokásos üzemi körülmények között, mind speciális, erre a célra épített próbapadon is végrehajthatjuk.

A vasúti járműmérések legfontosabb céljai az alábbiak lehetnek:

a/ **Átvételi mérések.** Újonnan épített, vagy főjavított járművek szilárdsági teherbírásának ellenőrzésére az európai vasutak szervezete, az *UIC* az 577. számú döntvényében, illetve az *ERRI B12/RP*-ben rögzítette, hogy milyen statikus szilárdsági próbapadi méréseket, továbbá milyen dinamikus (ütköztetéssel végrehajtott) méréseket kell végezni az átvétel során.

b/ **Üzemzavarok felderítése.** Az üzemzavarok okának felderítése céljából végzett méréseket általában az üzemi körülmények között hajtják végre, ilyen pl. egy vontatójármű energetikai jellemzőinek (hatásfok, stb.) mérése, továbbá törések, repedések okának felderítésére végzett szilárdsági mérések, stb.

c/ **Fejlesztési mérések.** Ide tartoznak az új járműtípus kifejlesztése során felmerült mérési igények, illetve a járműfejlesztéssel kapcsolatos kutatások mérési feladatai. Ezek lehetnek mind próbapadi mérések (pl. az alváznak egy részlete), mind vonali mérések.

A mérések lebonyolítása általában az alábbi mozzanatokból szokott állni:

a/ **Elméleti előkészítés:** ennek során meg kell határozni a mérési igényt, rögzíteni kell a mérendő (és mérhető) fizikai mennyiségeket. Ha a kérdéses műszaki-fizikai jellemzők közvetlenül nem mérhetők (pl. egy alkatrészt terhelő erőhatás mérése), akkor más, közvetlenül mérhető fizikai jellemzők mért értékeiből kell számítással meghatározni a kérdéses műszaki jellemzőt. Az említett erőmérés esetében (pl. egy fék függesztő elemében fellépő erők) a terhelő erőt az alkatrész felületi nyúlásának

mérésével állapíthatjuk meg úgy, hogy a mért felületi nyúlásból húzó feszültséget, a húzó feszültségből pedig húzóerőt határozunk meg.

**b/ A mérés gyakorlati előkészítése:** ennek során ki kell jelölni a mérendő járművet (vagy annak egy részletét, pl. csak a forgóvázat, vagy a gépészeti berendezést), meg kell határozni, hogy a mérést próbapadon, vagy egy kijelölt műhelyben álló helyzetben hajtjuk-e végre, vagy vonalon, üzemi körülmények között. Műhelyben végrehajtandó mérések esetén gondoskodni kell a megfelelő műhelyi vágányról, a vágány közelében a megfelelő kiszolgáló eszközökről, ilyen pl. a villamos csatlakozás 220 V 50 Hz váltakozó feszültséggel, vagy 24 V egyenfeszültséggel, vagy 3x380 V háromfázisú táplálással, továbbá sűrített levegő a légszerszámokhoz, vízcsatlakozás, stb. Ha vonalon, üzemi körülmények között kell a méréseket végrehajtani, biztosítani kell a szabad vágányt a szükséges időtartamra, valamint – ha szükséges – a megfelelő vontatójárművet.

A vizsgált jármű biztosításán kívül ugyancsak fontos a szükséges mérőeszközök számbavétele és azok összegyűjtése, továbbá biztosítani kell a műszerek energiaellátását is a megfelelő villamos csatlakozókkal. Ha a mozdonyról lesznek táplálva a mérőberendezések, megfelelő tápkábelek szükségesek. A táplálás történhet akkumulátorról is, megfelelő teljesítményű inverter segítségével. A műszereknek a mérendő járműhöz való kiszállítása megfelelő szállítóeszközt is igényelhet, pl. mérőmagnetofonokat, személyi számítógépeket, stb. nem célszerű közönséges teherautó rakodófelületén, speciális csomagolás nélkül szállítani.

**c/ A mérések végrehajtása:** minden mérést a léptékvétellel kell kezdeni, ennek során – általában a jelrögzítő berendezésen – olyan feszültséglépcsőt regisztrálnak, amely a hozzá tartozó mechanikai mértékegységgel együtt használható. Fontos, hogy megfelelő mérési jegyzőkönyvet vezessenek, amelyből utólag minden egyes mérés minden szükséges adata visszakereshető.

**d/ A mérési eredmények értékelése:** általában sok mérési regisztrátum készül a mérések során, ezeknek az értékelése manapság csak számítógép segítségével hajtható végre kellően rövid idő alatt és kellő pontossággal. Ennek a részleteivel a későbbiekben foglalkozunk.

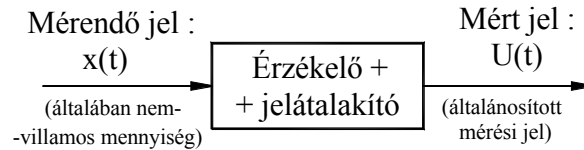
### 1.3 Méréstechnika: mérőberendezések, mérőrendszerek

Ebben a fejezetben sorra vesszük a használatos mérőérzékelőket, jelátalakítókat, mérőeszközöket, a jelrögzítő berendezéseket, szűrőket, majd a nagyobb számú mérőeszközt is magában foglaló mérési adatgyűjtő rendszereket.

#### 1.3.1 Mérőérzékelők, jelátalakítók

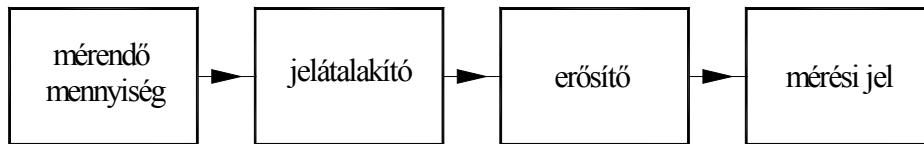
A vasúti járműmérési gyakorlatban nagyrészt nem-villamos mennyiségeket (erő, gyorsulás, stb.) kell mérni, tehát a mérendő mennyiségeket át kell alakítani érzékelhető és rögzíthető mennyiséggé. A méréstechnikai gyakorlatban erre a célra villamos feszültséget alkalmaznak. Az átalakítás folyamatát az 1.2. ábrán láthatjuk:

## 1.11



1.2. ábra

Az ábrából látható, hogy általában két lépcsőből áll a mérendő mennyiségnek a villamos feszültség-jellé történő átalakítása. Az érzékelők többnyire nem villamos feszültséggé alakítják át a mérendő jelet, hanem valamilyen villamos jellemzőjük (ellenállás, induktancia, stb.) változik a mérendő mennyiséggel analóg módon, vagyis minden időpillanatban arányosan. Ezért ezeket a jellemzőket meg kell mérni (folytonosan), és olyan nagyságú analóg feszültség-jellé átalakítani, amilyen pl. a jelrögzítőhöz (analóg mérőmagnetofon) szükséges, pl.  $\pm 1 \text{ V}$ ,  $\pm 5 \text{ V}$ , stb. Így végül a mérési folyamat vázlatja a 1.3 ábrán látható lesz:



1.3 ábra

Mivel a gyakorlatban mindig villamos feszültség-jel a mérési folyamat eredménye, ezért ehhez a villamos jelhez hozzá kell kapcsolni azt a léptéket, amely megadja, hogy mekkora fizikai mennyiség tartozik a mért jelhez:

$$q_m = \frac{[\text{mérendő fizikai mennyiség}]}{[\text{mérési jel}]} = \frac{[\text{mérendő fizikai mennyiség}]}{\text{Volt}}$$

Ez a lépték tehát valamilyen fizikai mennyiségnek (N, J, m/s, stb.) és villamos feszültségnek (Volt) a hányadosa. A továbbiakban a mért (és/vagy regisztrált) villamos jel és a  $q_m$  lépték együttesét **általánosított mérési jelnek** nevezzük. Ennek megfelelően ha a mért fizikai mennyiség valamilyen  $X$  mennyiség, akkor az  $X$  mennyiség a mért villamos  $U$  feszültségből a  $q_m$  léptékkel így állítható vissza:

$$X = q_m \cdot U \quad ;$$

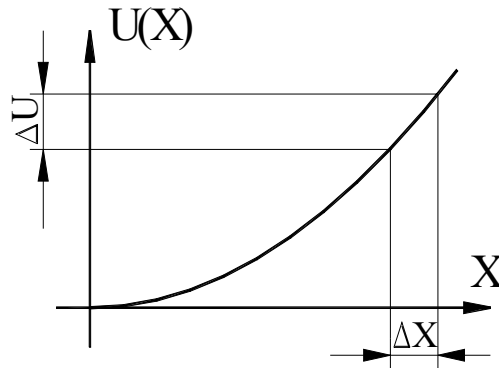
illetve figyelembe véve, hogy  $X$  és  $U$  az időben változnak, így a képlet:

$$X(t) = q_m \cdot U(t)$$

A jel átalakításának fontos jellemzői az átalakítás érzékenysége és az átalakítás beállási ideje. A bemenő jel (a mérendő mennyiség) és a kimenő jel (az  $U$  feszültség) közötti kapcsolatot **karakterisztikának** nevezzük.

A karakterisztika bemutatásához tekintsük először azt az esetet, amikor a be- és kimenő jel egyaránt állandó, illetve igen lassan változik. Ekkor a mérendő  $X$  meny-

nyiség és a mért  $U$  jel közötti összefüggést az ú. n. **statikus karakterisztika** mutatja be (1.4. ábra):



1.4 ábra

A jelátalakítás érzékenységének a be- és kimenő jelek változásának hányadosát nevezzük:

$$\dot{E} \cong \frac{\Delta U}{\Delta X} ;$$

és mivel  $U$  általában nem lineáris függvénye  $X$ -nek, ezért írható:

$$\dot{E} = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta X} = \frac{dU}{dX}$$

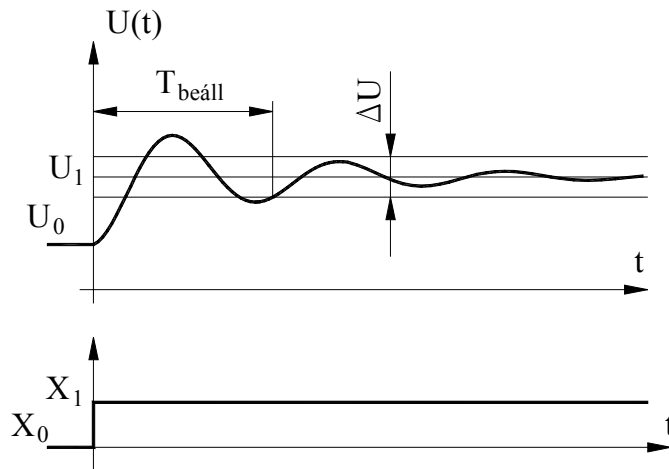
A gyakorlati esetek többségében a be- és kimeneti jelek gyorsan változnak. Ennek az a következménye, hogy a kimeneti jel változásának bizonyos késése figyelhető meg a bemeneti jel változásához képest, mivel az áramkörök induktivitása és kapacitása úgy viselkedik, mint a mechanikai lengőrendszerekben a tömeg, a rugó és a csillapító. A 1.5. ábra azt a szélsőséges esetet mutatja be, amikor a bemenő  $\mathbf{X}(t)$  jel ugrásszerűen, végtelen rövid idő alatt változik ("egységugrás függvény" jelleggel), ugyanakkor a kimenő  $\mathbf{U}(t)$  jel csillapodó lengések mellett tart az új érték felé (az "átmeneti függvény"-hez hasonlóan):

Látható, hogy míg a bemenő jel végtelen rövid idő alatt változott  $\mathbf{X}_0$ -ról  $\mathbf{X}_1$ -re, addig a kimenő  $\mathbf{U}(t)$  jel csillapodó lengésekkel ugyan, de csak aszimptotikusan tart az  $\mathbf{U}_1$  értékhez, tehát szigorúan véve csak végtelen hosszú idő után éri el  $\mathbf{U}_1$  értékét. A gyakorlatban ilyenkor kitűznek egy  $\Delta U$  sáv szélességet, és azt a  $\mathbf{T}_{\text{beáll}}$  időt tekintik az átalakítás **beállási idejének**, amelyen túl a kimenő  $\mathbf{U}(t)$  feszültség-jel ingadozása kisebb a kijelölt  $\Delta U$ -nál.

Általános esetben a bemenő jel nemcsak az időnek, hanem az  $\omega$  körfrekvenciának is függvénye (tehát van harmónikus összetevője). Ekkor a kimenő jelet komplex függvényként célszerű kezelni, amelyet **átviteli karakterisztikának** nevezünk. Ha ez egy  $\mathbf{W}(j, \omega)$  komplex függvény, akkor:

### 1.13

$$W(j.\omega) = A(\omega) + j.B(\omega)$$



1.5 ábra

és az abszolút értéke:  $|W(j.\omega)| = K(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}$

A  $K(\omega)$  függvényt amplitúdó-karakterisztikának nevezzük.  $A(\omega)$  és  $B(\omega)$  hányadosa pedig:

$$\operatorname{tg} \varphi(\omega) = \frac{B(\omega)}{A(\omega)} ; \text{ illetve}$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{B(\omega)}{A(\omega)}$$

A  $\varphi(\omega)$  függvényt fáziskarakterisztikának nevezzük.

A fentiekből következik, hogy ha időben változó mennyiséget kell mérni, akkor célszerű, ha az érzékelő-átalakító együttes  $K(\omega)$  amplitúdó-karakterisztikája állandó abban az  $[\omega_1; \omega_2]$  tartományban, amelyben a bemenő jel körfrekvenciája is változik. Megfordítva, ha az érzékelő-átalakító amplitúdó-karakterisztikája egy  $[\omega_1; \omega_2]$  tartományban állandónak tekinthető (az ingadozás nem halad meg egy előírt  $\Delta K_0$  értéket), akkor ebben az  $[\omega_1; \omega_2]$  tartományban minden  $\omega$  körfrekvenciájú harmónikus összetevő amplitúdója azonos mértékben fog nőni, vagy csökkenni.

A továbbiakban sorra vesszük az alkalmazott érzékelők típusait, először azokat, amelyek valamilyen villamos jellemző (ellenállás, induktancia, stb.) változásává alakítják át a mérendő jelet, majd azokat, amelyek villamos feszültséggé transzformálják a mérendő jelet. Az első csoportba tartoznak a nyúlásmérő bélyeg, az induktív elmozdulás-érzékelő, az induktív helyzet-érzékelő, valamint az induktív elven működő gyorsulás-érzékelő. Ilyen érzékelőket alkalmazva először meg kell mérni

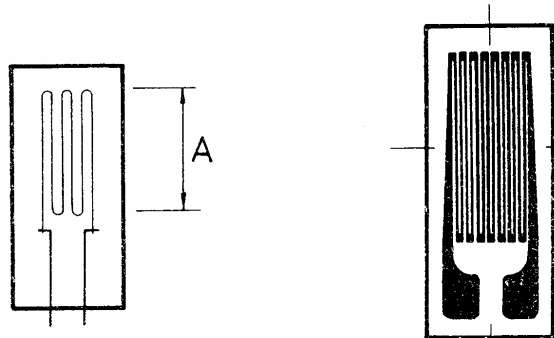
folyamatosan a változó villamos jellemzőt, majd a megmért ellenállás, induktancia, stb. változó értékével analóg módon változó és megfelelő nagyságú villamos feszültséget kell előállítani a jel további feldolgozásához. Ezt a kettős feladatot a **mérőerősítők** tudják ellátni, amelyek részleteit a további fejezetekben találhatjuk meg.

Az érzékelők második csoportjába tartozik – többek között – a lézeres távolságérzékelő, a piezoelektromos elven működő gyorsulásérzékelő, valamint az optoelektronikus elven működő szögelfordulás-érzékelő. A lézeres távolságérzékelő kimenetén a mért jellemző feszültség-jele megjelenik digitális alakban is, és digitál-analóg konverzió alkalmazásával az érzékelő lépcsősen változó  $U(t)$  feszültséget is szolgáltat.

A továbbiakban ezeket az érzékelőket részletesebben is ismertetjük.

#### a/ Nyúlásmérő bélyeg.

A nyúlásmérő bélyeg a deformálódó alkatrész felületi megnyúlását ohmikus ellenállás-változással érzékeli. A bélyeg úgy van felépítve, hogy ellenálláshuzalt ragasztanak gyárilag két papír-, vagy műanyagréteg közé, és ezt lehet a vizsgált alkatrész felületére alkalmas ragasztóval (pl. műgyanta) felragasztani. A bélyegbe beépített ellenálláshuzal általában az 1.6. ábra baloldali részén látható módon van elhelyezve, hogy a beépített ellenálláshuzal  $A$  összhosszát meg lehessen növelni:



1.6. ábra

Manapság viszont terjed az 1.6. ábra jobboldali részén látható kivitel is, ahol – a nyomtatott áramkörök gyártásához hasonló módon – megfelelő vékony fóliát ragasztanak fel a hordozó alapra, majd kimaratják a felesleget, és így az ábrán látható huzalalak marad.

A nyúlásmérő bélyeg fontos adata az  $A$  mérőhossz. Ez  $2 \sim 50$  mm lehet, legtöbbször  $10 \sim 20$  mm. Ennek az ismerete azért fontos, mert ezen a hosszon belül a bélyeg átlagolja a nyúlást, mivel csak az összellenállás megváltozása mérhető meg.

A nyúlásmérő bélyeg legfontosabb adata a  $k$  **nyúlási tényező**, amely a  $dR/R$  fajlagos ellenállásváltozás (nem tévesztendő össze a  $\rho$  fajlagos ellenállással !) és az  $\epsilon = dl/l$  fajlagos nyúlás közötti kapcsolatot fejezi ki:

## 1.15

$$k = \frac{\frac{dR}{R}}{\frac{dl}{l}} = \frac{dR}{R} \cdot \frac{l}{\varepsilon}$$

A kísérletek szerint a huzalok anyagának folyáshatáráig  $k = \text{állandó}$ . (Bővebbet [2].- 5. fejezetében találhatunk.) A nyúlási tényező számértéke **2** körül mozog a szokásos gyártású és kivitelű nyúlásmérő bélyegek esetén, a gyártó cégek mindig közlik a bélyegeken.

Ekkor:

$$k \cdot \varepsilon = \frac{dR}{R} \cong \frac{\Delta R}{R},$$

mivel  $k$  értéke a tapasztalat szerint állandó.

Bevezetve az  $r$  relatív ellenállásváltozás értékét, kapjuk:

$$r = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R - R_0}{R_0},$$

ahol  $R_0$ : az ellenállás eredeti értéke,  $R$ : a megváltozott ellenállás értéke. Ekkor:

$$r = k \cdot \varepsilon,$$

tehát a relatív ellenállás-változás arányos az  $\varepsilon$  nyúlással, így  $r$  értékét mérve, az  $\varepsilon$  nyúlást megkaphatjuk:

$$\varepsilon = \frac{r}{k}$$

A nyúlásmérő bélyegeknek a terheletlen állapothoz tartozó  $R_0$  ellenállása – azonos típusú bélyegek esetén – eléggé csekély eltéréssel azonos, az eltérés általában nem haladja meg a  $\pm 0.5$  %-ot.

A nyúlásmérő bélyegek további fontos jellemzője a hőmérsékleti tényező, valamint a felhasználáshoz ajánlott hőmérsékleti tartomány. A hőfoktényező a hőmérsékletváltozás hatására bekövetkezett ellenállásváltozást adja meg:

$$\beta = \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

Levezethető ([1].-7.4, [2].- 5.3.3), hogy a terheletlen bélyeg  $\Delta T$  hőmérsékletváltozás esetén a következő nagyságú megnyúlást szenved el a fémalkatrész megnyúlása következtében:

$$\mathcal{E}_{\text{hőm}} = \left[ \alpha_0 - \alpha + \frac{\beta}{k} \right] \cdot \Delta T,$$

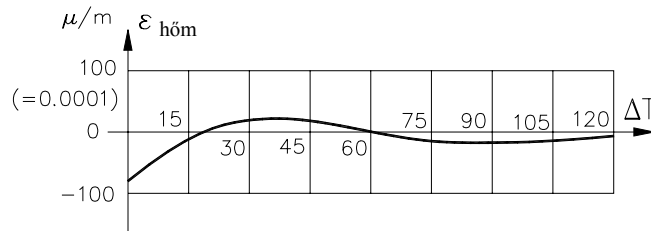
## 1.16

ahol  $\alpha_0$  : a hőmérséklet-változás előtti hőtágulási tényező;

$\alpha$  : a hőmérséklet-változás utáni hőtágulási tényező ;

$\beta$  : hőfoktényező.

Az  $\epsilon_{\text{hőm}}$  hőfokváltozási nyúlást a 1.7. ábra szemlélteti a  $\Delta T$  hőmérsékletváltozás függvényében, a szokásos korszerű kivitelű nyúlásmérő bélyegekre.



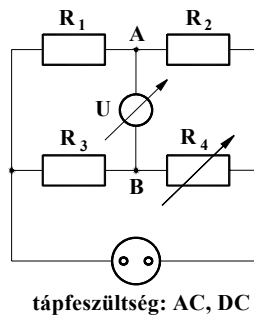
1.7 ábra

Látható az ábráról, hogy a célszerűen használható hőmérsékletváltozási tartomány a 20 ~ 100 °C közötti terület.

A nyúlásmérő bélyegek jellemzői közül még megemlíthető a megengedhető mechanikus igénybevétel és a megengedhető villamos terhelés. Statikus terhelésekre a bélyegek legfeljebb  $\epsilon_{\text{max}} = 0.3 \% = 0.003 \text{ m/m} = 3000.0 \mu/m$  nyúlást képesek garantáltan elviselni (ez kb. **600 Mpa** húzófeszültséget jelent). Ismétlődő igénybevételek okozta nyúlások mérésénél célszerű olyan bélyeget alkalmazni, amelyen a gyártó feltüntette, hogy legfeljebb mekkora nyúlást és milyen terhelési ciklusszámot képes a bélyeg elviselni.

A megengedhető villamos terhelés azt a legnagyobb feszültséget jelenti, amely a mérés során hathat a bélyegre, ez általában **20 V**.

Végezetül bemutatjuk, hogy az előbb elmondottak szerint a mérendő  $\epsilon$  felületi nyúlás meghatározásához meg kell mérni az  $r$  relatív ellenállásváltozást, illetve a mérőbélyeg  $R$  ellenállásának  $\Delta R$  abszolút ellenállásváltozását. Ezt a gyakorlatban **Wheatstone-híddal** végzik el (1.8. ábra):



1.8 ábra



Az ábrán látható négy ellenállás közül legyen  $R_1$  a mérendő ellenállás (a mérőbéllyeg),  $R_4$  változtatható ellenállás,  $R_2$  és  $R_3$  pedig ismert értékű, állandó nagyságú ellenállások. Könnyen belátható, hogy az  $R_4$  ellenállás változtatásával elérhető, hogy az  $U$  feszültségmérő zérust mutasson, mert ekkor:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4},$$

tehát az ismeretlen  $R_1$  ellenállás értéke:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

Ez a módszer csak statikus méréseknél alkalmazható, tehát amikor  $R_1$  értéke állandó. Változó terhelések, tehát változó bélyegellenállások esetén egyszerűen nincs idő  $R_4$  változtatására, hanem a mért  $U$  feszültség értékéből következtethetünk az ismeretlen  $R_1$  értékére. Erről bővebben az 1.3.2 fejezetben találhatunk.

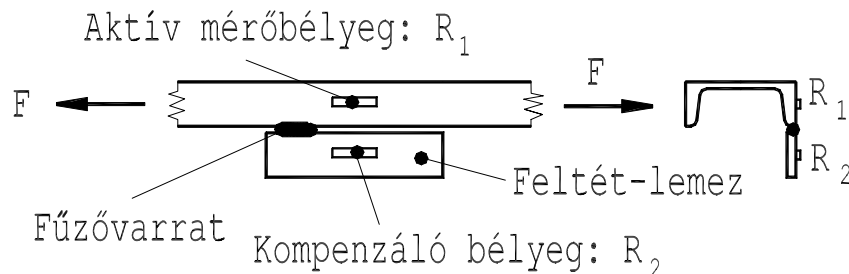
Az 1.8. ábrán bemutatott Wheatstone-híd kapcsolás ugyanakkor lehetőséget ad arra, hogy a hőmérséklet-változás által okozott  $\varepsilon_{\text{hőm}}$  nyúlás befolyását egyszerű módon lehessen kiküszöbölni. Ez az ú. n. *hőmérséklet-kompenzáló bélyeg* alkalmazása.

Az 1.9. ábrán bemutatott tartóra az  $R_1$  nyúlásmérő bélyeget ragasztották a tartóban ébredő húzófeszültség-okozta nyúlás érzékelésére, a bélyeg ellenállás-változása nyilvánvalóan arányos lesz az érzékelt  $\varepsilon_1$  nyúlással, amiből – egytengelyű feszültségi állapotot feltételezve – következtetni lehet a tartót terhelő  $\sigma$  feszültségre:

$$\sigma = \varepsilon_1 \cdot E$$

Ha a vizsgált tartó hőmérséklete megváltozott a felragasztás hőmérsékletéhez képest, akkor a tartó hődilatációja következtében a mérőbéllyeg ellenállása is megváltozik és  $\varepsilon_{\text{hőm}}$  megnyúlást érzékel, mintha azt is az  $F$  terhelőerő keltette volna.

Mivel a tartó hőmérséklet-változására általában számítani lehet, ilyenkor felhegesztenek a tartóra egy olyan feltét-lemezt, amelyre az  $R_1$  bélyeghez hasonló kivitelű hőmérséklet-kompenzáló bélyeget ragasztottak, ezt jelöljük  $R_2$  -vel:

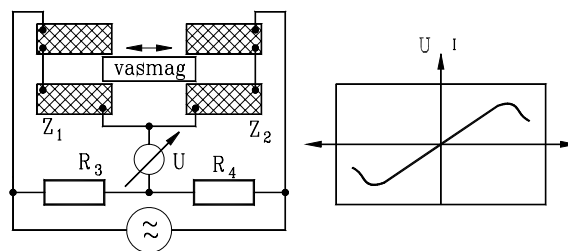


1.9. ábra

A feltét-lemezt rögzítő varrat csak egy rövid, ú. n. fűző-varrat lehet, hogy a feltét-lemez ne legyen kénytelen követni az  $U$ -tartónak az  $F$  húzóerő hatására bekövetkezett hosszváltozását. Ha a környezet hőmérséklete változik (pl. az alvázat körülújító menetszél hatására), az mind az  $R_1$ , mind az  $R_2$  ellenállású bélyegek hőmérsékletét egyenlőképpen változtatja (ezért célszerű az  $R_2$  bélyegnek az  $R_1$  közelében lennie). Viszont a mechanikai terhelés hatására bekövetkező felületi nyúlás csak  $R_1$  ellenállását változtatja meg. A hőmérséklet-változás azonban egyenlő arányban változtatja meg mind az  $R_1$ , mind az  $R_2$  értékét. Így felépítve a Wheatstone-hidat, az  $R_1$  ellenállás mérési eredményét nem befolyásolja a hőmérséklet esetleges megváltozása. Ennek az igazolását a 1.3.2 Mérőerősítők c. fejezetben találhatjuk meg.

### b/ Induktív elmozdulás-érzékelő

Az induktív elmozdulás-érzékelő működésének az az alapja, hogy ha egy tekercsbe vasmagot tolunk be, a tekercs induktanciája ( $\omega L$ ) megváltozik. A sokféle lehetséges tekercs-vasmag elrendezés közül az a változat terjedt el, amely két sorba kapcsolt tekercset tartalmaz, egyetlen elmozduló vasmaggal (1.10. ábra):



1.10. ábra

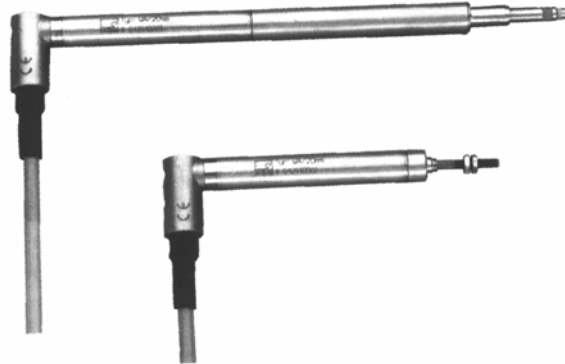
A vasmag bármelyik irányú kitérése a megfelelő tekercs-fél impedanciáját változtatja meg, mivel a tekercs belsejébe behatoló vasmag megnöveli a tekercs induktivitását, ugyanakkor a másik tekercs-fél induktivitása gyakorlatilag változatlan marad. Az ábra egyúttal a mérőerősítővel történő mérés működési vázlatát is bemutatja, a híd **A** és **B** pontja között folyó áram, így a mért feszültség is jó közelítéssel lineáris függvénye lesz a vasmag elmozdulásának, de túllépve a lineáris szakaszt (a mérési tartományt), a görbe nemlineárisra válik, tehát az érzékelő beépítésénél a kitérést megfelelő módon korlátozni kell, figyelembe véve a gyártó cég által közölt mérési tartomány hosszát. Az 1.11. ábrán a **Hottinger** gyártmányú **WA** típusú, induktív elven működő elmozdulás-érzékelők közül kettőnek a képe látható ([6].-118. o.).

### c/ Induktív gyorsulás-érzékelő

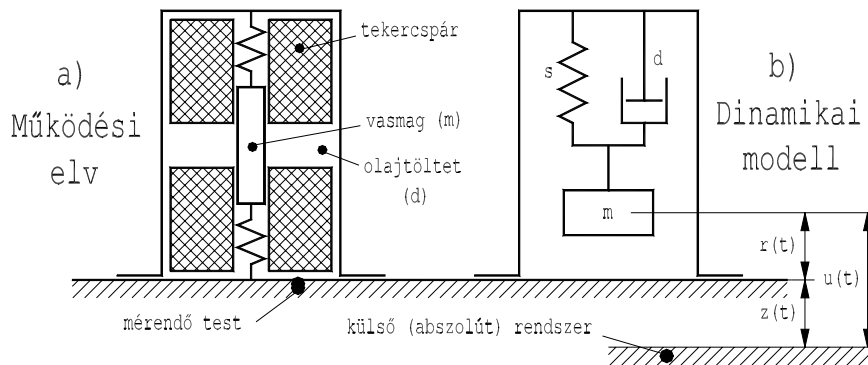
Az induktív elmozdulás-érzékelők működési elvének egy érdekes felhasználási módja a gyorsulások mérésére történő alkalmazás oly módon, hogy az elmozdulás mérési eredményéből következtetünk a mérendő gyorsulásra. Ez az érzékelő egyszabadságfokú lengőrendszert tartalmaz, amelynek a tömege megegyezik a tekercspárban

## 1.19

alternáló mozgást végző  $m$  tömegű vasmaggal, a vasmag az  $s$  merevségű rugóval van az érzékelő házához kapcsolva, a lengőrendszer  $d$  csillapítási együtthatóját az egész érzékelőt kitöltő olajtöltet viszkozitása eredményezi. Az érzékelőt vázlatosan az 1.12. ábra mutatja be:



1.11 ábra



1.12 ábra

Az 1.12. ábra a/ része az érzékelő működési vázlatát, a b/ része az érzékelő dinamikai modelljét szemlélteti. A dinamikai modell szerint a mérendő test (pl. egy kocsiszekrény) valamilyen  $z(t)$  függőleges mozgást végez a külső, abszolútnak tekintett rendszerhez képest (a vasúti pálya környezete), az érzékelő  $m$  tömege az érzékelő házához képest – tehát a kocsiszekrényhez képest –  $r(t)$  relatív mozgást végez. A két mozgás algebrai összege legyen  $u(t)$ , vagyis az  $m$  tömegnek a külső, abszolút rendszerhez képest végzett mozgása.

Az érzékelő csak az  $r(t)$  relatív mozgásra tud felvilágosítást adni, viszont a mérendő test  $z(t)$  mozgásának gyorsulását kell meghatároznunk. Irjuk fel az  $m$  tömeg dinamikai erőegyensúlyát Newton II. axiómájának segítségével:

$$m \cdot \frac{d^2 u(t)}{dt^2} + d \cdot \frac{dr(t)}{dt} + s \cdot r(t) = 0$$

## 1.20

Figyeljük meg, hogy a tömeg gyorsulása a külső, abszolút rendszerhez képest  $u(t)$  mozgás második deriváltjával egyenlő, viszont a tömegre ható csillapító és rugóerő az  $r(t)$  relatív mozgás jellemzőitől függ. Vezessük be az  $u(t)$  helyére is az  $r(t)$  függvényt:

$$u(t) = z(t) + r(t) ;$$

$$\text{és } \frac{d^2 u(t)}{dt^2} = \frac{d^2 z(t)}{dt^2} + \frac{d^2 r(t)}{dt^2} ;$$

illetve egyszerűbb jelöléssel :

$$\ddot{u}(t) = \ddot{z}(t) + \ddot{r}(t)$$

Behelyettesítve ezt a mozgásegyenletbe, kapjuk :

$$m.\ddot{z}(t) + m.\ddot{r}(t) + d.\dot{r}(t) + s.r(t) = 0 ,$$

illetve :

$$m.\ddot{r}(t) + d.\dot{r}(t) + s.r(t) = -m.\ddot{z}(t) ;$$

tehát az érzékelő lengőrendszerét a  $-m.\ddot{z}(t)$  erő kényszeríti mozgásra. Tételezzük fel, hogy az ismeretlen  $z(t)$  mozgásfüggvény egyszerű harmonikus függvény :

$$z(t) = Z_0 \cdot \sin \omega t ,$$

vagyis  $Z_0$  amplitudójú és  $\omega$  körfrekvenciájú szinuszfüggvény, amelynek a második deriváltja:

$$\ddot{z}(t) = -\omega^2 \cdot Z_0 \cdot \sin \omega t ,$$

amelyet behelyettesítve kapjuk :

$$m.\ddot{r}(t) + d.\dot{r}(t) + s.r(t) = m.\omega^2 \cdot Z_0 \cdot \sin \omega t$$

Ez az egyenlet az  $r(t)$  függvény másodrendű, lineáris, állandó együtthatójú, inhomogén differenciálegyenlete. Ennek az általános megoldása :

$$r(t) = R(t)_{hom., \text{ áll.}} + r(t)_{inhom., \text{ part.}}$$

Az  $R(t)_{hom., \text{ áll.}}$  homogén általános megoldás a differenciálegyenlet homogén részének megoldása:

$$m.\ddot{r}(t) + d.\dot{r}(t) + s.r(t) = 0$$

ennek a homogén, általános megoldását úgy kapjuk meg, hogy az  $R(t)$  függvényt az alábbi alakban keressük:

$$R(t) = e^{\lambda t}$$

Képezve ennek első és második deriváltját, majd azokat behelyettesítve a homogén differenciálegyenletbe és  $e^{\lambda t}$ -vel minden tagot elosztva, kapjuk:

$$m.\lambda^2 + d.\lambda + s = 0$$

## 1.21

Ebből  $\lambda$  értéke:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{d}{2.m} \pm \sqrt{\left(\frac{d}{2.m}\right)^2 - \frac{s}{m}}$$

Vezessük be az alábbi jelöléseket, tekintetbe véve, hogy lengőmozgáshoz az  $\frac{s}{m} > \left(\frac{d}{2.m}\right)^2$  reláció tartozik:

$$\alpha = \sqrt{\frac{s}{m}},$$

$$\beta = \frac{d}{2.m},$$

$$\gamma = \sqrt{\alpha^2 - \beta^2}$$

Ekkor  $\lambda$  értékei:

$$\lambda_{1,2} = -\beta \pm \sqrt{-1} \cdot \sqrt{\alpha^2 - \beta^2} = -\beta \pm j.\gamma$$

Mivel  $\lambda$  -ra két megoldást kaptunk, ezért a keresett megoldás:

$$R(t) = A.e^{\lambda_1.t} + B.e^{\lambda_2.t}$$

(a két lehetséges megoldás lineáris kombinációja). Behelyettesítve  $\lambda_1$  és  $\lambda_2$  értékét, kapjuk:

$$\begin{aligned} R(t) &= A.e^{(-\beta+j.\gamma).t} + B.e^{(-\beta-j.\gamma).t} = e^{-\beta.t} \cdot (A.e^{j.\gamma.t} + B.e^{-j.\gamma.t}) = \\ &= e^{-\beta.t} \cdot [(A+B).\cos \gamma.t + j.(A-B).\sin \gamma.t] \end{aligned}$$

Bevezetve a következő új állandókat:

$$C_1 = (A+B)$$

$$C_2 = j.(A-B)$$

Végül:

$$R(t)_{hom., \text{ ált.}} = e^{-\beta.t} \cdot (C_1.\cos \gamma.t + C_2.\sin \gamma.t)$$

Az  $r(t)$  megoldásának inhomogén partikuláris részét úgy kaphatjuk meg, hogy ugyanolyan harmónikus függvényt helyettesítünk be kísérletképpen, mint a jobboldalon álló függvény, kihasználva, hogy a jobboldalon álló gerjesztőfüggvény beletartozik a "t" hatványfüggvénye, exponenciális, valamint harmónikus függvénye által alkotott csoportba. Így az  $r(t)_{inh, part.}$  kísérletező függvénye a következő lehet:

$$r(t) = A.\sin \omega.t + B.\cos \omega.t$$

Képezve ennek első és második deriváltját, behelyettesítés után kapjuk:

## 1.22

$$-m \cdot \omega^2 \cdot A \cdot \sin \omega t - m \cdot \omega^2 \cdot B \cdot \cos \omega t + d \cdot \omega \cdot A \cdot \cos \omega t - d \cdot \omega \cdot B \cdot \sin \omega t + \\ + s \cdot A \cdot \sin \omega t + s \cdot B \cdot \cos \omega t = m \cdot \omega^2 \cdot Z_0 \cdot \sin \omega t$$

Az egyenletet szétválasztva a két szögfüggvény szerint, **A**-ra és **B**-re kapjuk:

$$A = \frac{\omega^2 \cdot Z_0 \cdot (\alpha^2 - \omega^2)}{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2};$$

$$B = \frac{-\frac{d \cdot \omega}{m} \cdot \omega^2 \cdot Z_0}{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}$$

Összevonva a két szögfüggvényt egyetlen szögfüggvénné, az alábbi képletet kapjuk:

$$r(t) = A \cdot \sin \omega t + B \cdot \cos \omega t = K \cdot \sin(\omega t + \varepsilon),$$

amelyben: 
$$K = \frac{\omega^2 \cdot Z_0}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}}, \text{ és}$$

és 
$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{-\frac{d \cdot \omega}{m}}{\alpha^2 - \omega^2}.$$

Végül az inhomogén partikuláris megoldás az alábbi alakú lesz:

$$r(t)_{inh.,part} = \frac{\omega^2 \cdot Z_0}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon)$$

Mivel a mozgás az időben hosszan tart, a homogén általános megoldás  $e^{-\beta t}$  tényezője következtében csillapodik, ezért élhetünk azzal a közelítéssel, hogy a homogén, általános megoldás-összetevőt elhanyagoljuk:

$$r(t) \cong r(t)_{inh.,part} = \frac{\omega^2 \cdot Z_0}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}} \cdot \sin(\omega t + \varepsilon) = \\ = K \cdot \sin(\omega t + \varepsilon)$$

Mivel a  $\mathbf{z}(t)$  függvényt harmonikusnak tételeztük fel, ebből következik, hogy a mérendő test  $\ddot{\mathbf{z}}(t)$  gyorsulása arányos az érzékelő által követett relatív mozgás elmozdulásával. A  $\ddot{\mathbf{z}}(t)$  gyorsulás amplitúdója:

$$\ddot{\mathbf{z}}(t) = -\omega^2 \cdot Z_0 \cdot \sin \omega t = A_z \cdot \sin \omega t$$

Az érzékelt  $\mathbf{r}(t)$  relatív mozgás amplitúdója:

$$K = \frac{\omega^2 \cdot Z_0}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}}$$

A két amplitúdó hányadosa (a negatív előjelet elhanyagolva):

$$\frac{K}{A_z} = \frac{\omega^2 \cdot Z_0}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}}$$

Vezessük be a következő jelöléseket az egyszerűsítés és a jobb áttekinthetőség érdekében. A gerjesztés  $\omega$  körfrekvenciájának és a csillapítatlan  $\alpha$  sajátkörfrekvenciájának a hányadosa:

$$q = \frac{\omega}{\alpha}$$

valamint a **Lehr**-féle csillapítási együttható (vagyis a kúszás és a lengés közötti határhelyzethez tartozó csillapítás hányadosa):

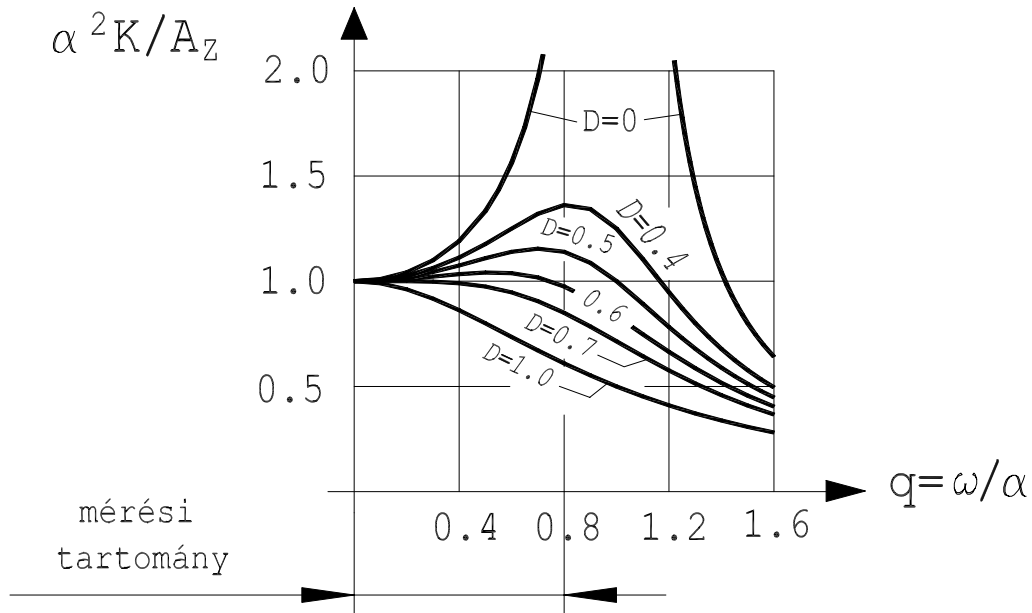
$$D = \frac{d}{2 \cdot m \cdot \alpha}$$

Ezeket behelyettesítve a  $K/A_z$  hányados képletébe, kapjuk:

$$\begin{aligned} \frac{K}{A_z} &= \frac{1}{\sqrt{(\alpha^2 - \omega^2)^2 + \left(\frac{d \cdot \omega}{m}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\alpha^4 \cdot \left(1 - \frac{\omega^2}{\alpha^2}\right)^2 + \alpha^4 \cdot \left(\frac{d \cdot \omega}{m \cdot \alpha^2}\right)^2}} = \\ &= \frac{1}{\alpha^2 \cdot \sqrt{(1 - q^2)^2 + \left(\frac{2 \cdot d \cdot \omega}{2 \cdot m \cdot \alpha \cdot \alpha}\right)^2}} = \frac{1}{\alpha^2 \cdot \sqrt{(1 - q^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot q^2}}, \end{aligned}$$

$$\text{illetve } \frac{\alpha^2 \cdot K}{A_z} = \frac{1}{\sqrt{(1-q^2)^2 + 4 \cdot D^2 \cdot q^2}}$$

Az  $\alpha^2 \cdot K/A_z$  hányadost a 1.13. ábrán látható görbesereg ábrázolja  $q$  függvényében, a  $D$  paraméter különböző értékei esetén:



1.13 ábra

Látható az ábráról, hogy a két gyorsulás-amplitúdó  $\alpha^2 \cdot K/A_z$  hányadosa  $q$  függvényében (tehát a gerjesztő körfrekvencia függvényében) eléggé változik a  $D$  paraméter különböző értékeinek függvényében, de  $D = 0.6$  esetén a  $0 \leq q \leq 0.8$  tartományban alig különbözik 1.0-tól. Ez azt jelenti, hogy ha az  $\omega$  gerjesztő körfrekvencia *kisebb* az érzékelő lengőrendszere  $\alpha$  csillapítatlan körfrekvenciájának 0.8-szorosánál, akkor az érzékelő tömege relatív kitérésének  $\alpha^2$ -szerese elég jó közelítéssel egyenlő lesz a járműrész mért gyorsulásával. Ezt a határértéket a gyártók minden esetben feltüntetik az érzékelőn, és a mérés előkészítése során ezt célszerű figyelembe venni. Ha bizonytalan, hogy mekkora a körfrekvenciája a mérendő járműalkatrész lengésének, magasabb sajátkörfrekvenciájú érzékelővel célszerű próba-mérést végezni.

**Fontos megjegyezni**, hogy az érzékelő kitérése és a mérendő gyorsulás közötti összefüggés levezetése annak a feltételezésével készült, hogy a mérendő  $\bar{z}(t)$  gyorsulásfüggvény harmónikus függvény. Ha ez a feltétel nem teljesül, ez a levezetés sem érvényes, ezért ilyen esetekben a gyorsulásmérés eredményét kellő óvatossággal kell kezelni.

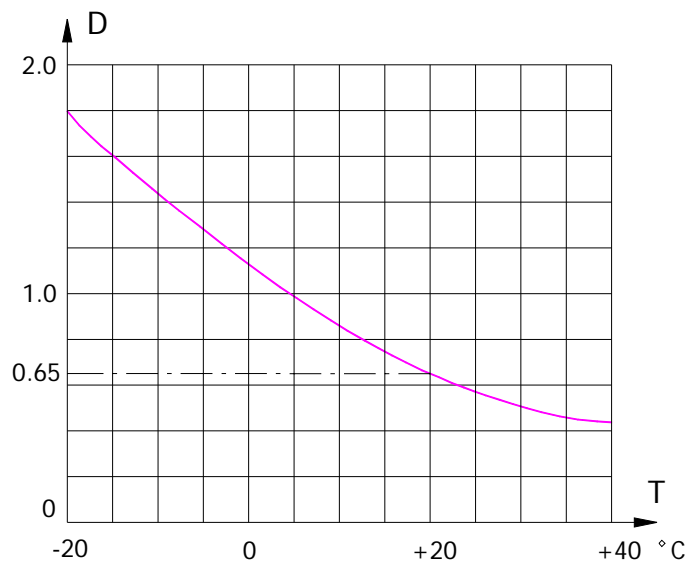
Az elmondottak szerint az induktív gyorsulás-érzékelő pontosan úgy használható, mint az induktív elmozdulás-érzékelő: meg kell mérni a vasmagnak a házhoz viszonyított elmozdulását, és ezt  $\alpha^2$ -tel szorozva kaphatjuk meg a kérdéses gyorsulás-értéket. A



méréstechnikai gyakorlat ezen úgy egyszerűsített, hogy a mérés kezdete előtt megállapítják az  $Ig$  gyorsuláshoz tartozó vasmag-elmozdulást. Az érzékelőt  $90^\circ$ -kal elfordítva (hogy a vasmag elmozdulás-iránya vízszintesbe essék), a mért elmozdulás (és a keresett gyorsulás) zérus lesz, ez lesz a *nulla-szint*. Visszafordítva az érzékelőt a beépítési helyzetbe, az  $Ig$ -nek megfelelő elmozdulás lesz mérhető. Ezt a jel-lépcsőt rögzítve a jel-regisztráló berendezésen, a regisztrált  $\bar{z}(t)$  függvény bármely ordinátája meghatározható.

Végül meg kell még említeni, hogy az induktív gyorsulásérzékelők olajtöltésével beállított csillapítási együttható számértékét a beállított értéken (vagy annak a közelében) kell tartani. Köztudomású, hogy az olajok viszkozitása függ a hőmérséklettől, tehát az érzékelő dinamikai modelljében a csillapítás is az érzékelő hőmérsékletének függvénye, Az 1.14. ábrán bemutatjuk a szokásos induktív gyorsulásérzékelők  $D$  csillapítási együtthatójának változását az olajtöltet hőmérsékletének függvényében.

A szokásos  $+20\text{ }^\circ\text{C}$  környezeti hőmérsékleten a  $D=0.65$  nagyságú csillapítás a megfelelő érték.



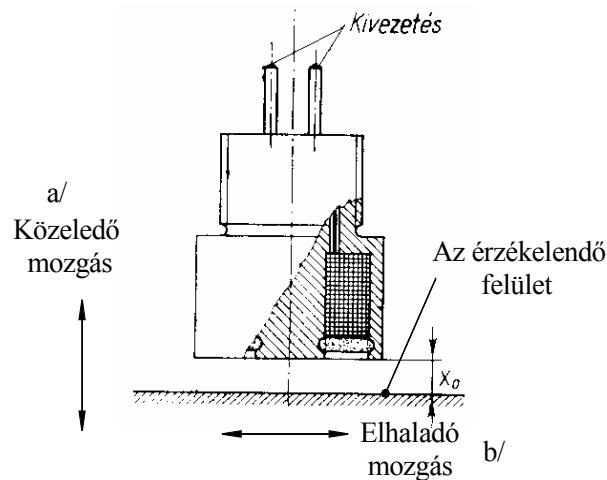
1.14. ábra

#### d/ Induktív helyzetérzékelők

Az induktív helyzetérzékelők egyszerűbb felépítésűek az induktív elmozdulás-érzékelőkhöz képest, csak egyetlen tekercset tartalmaznak, vasmag nélkül. Ha viszont ezt a tekercset megközelíti egy vastömeg, ennek a tekercsnek is megváltozik az induktanciája. Az érzékelő vázlatos működését a 1.15. ábra mutatja be.

Az ábra a/ és b/ jelű beépítési mozgásiránya mutatja be a két leggyakoribb alkalmazási módot. Az a/ változat esetén a közelítő vastömegnek meghatározott, fémes ütközés által biztosított véghelyzetét kell biztosítani (tehát az érzékelőnek nem fog

nekiütközni, de azt megközelíti), viszont a véghelyzetben az érzékelő tekercsének  $\omega L$  induktanciája megnövekszik, ezzel jelzi, hogy a tömeg a véghelyzetbe (illetve annak közvetlen közelébe) ért.



1.15 ábra

A b/ változat esetében a vastömegnek nincs meghatározott véghelyzete, hanem csak elhalad az érzékelő előtt, annak közvetlen közelében. Ekkor a megközelítés, tehát az érzékelő közelében való elhaladás tényét ismét a tekercs  $\omega L$  induktanciájának megváltozása jelzi.

Fontos, hogy egyik változat esetében sem a pontos helyzet megadására szolgál, hanem csak az érzékelőnek a megközelítését, illetve az előtte való elhaladás tényét jelzi.

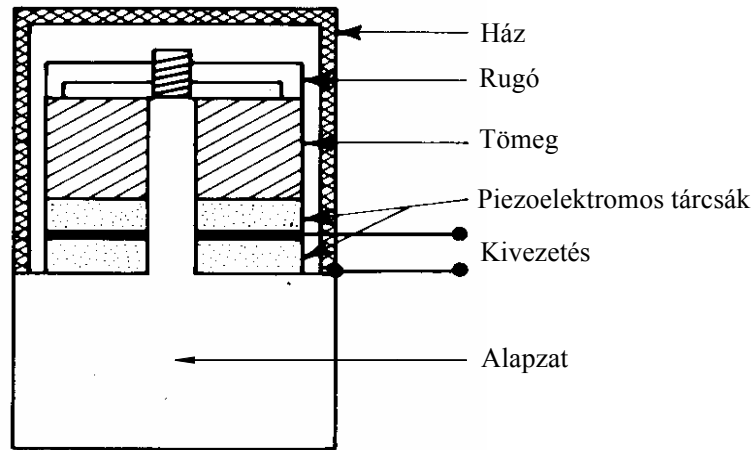
A gyakorlatban más elven működő helyzet-, illetve megközelítés-érzékelők is készülnek, pl. mágneses (Hall), kapacitív, stb. alapon működnek, a felhasználásuk teljesen hasonló az induktív érzékelőkhöz.

### e/ Piezoelektromos gyorsulásérzékelők

Az utóbbi időben az induktív elven működő gyorsulásérzékelők mellett terjed a piezoelektromos elven működő gyorsulásérzékelők alkalmazása. A piezoelektromos működési elvű érzékelők felépítése emlékeztet az induktív elvű érzékelőkre. A 1.16. ábra vázlatosan mutatja be a piezoelektromos gyorsulásérzékelők felépítését:

Az ábra az [5] forrásmű 4.12 ábrája alapján mutatja be vázlatosan az érzékelő felépítését. A rezgő környezettel együtt mozog az „alapzat” és a „ház”. A rezgő tömeg – hasonlóan az induktív érzékelőkhöz – szolgáltatja a kimenő jelet azzal, hogy egy tárcsa alakú rugó nekiszorítja a kettős piezoelektromos kristálytárcsához, amely az alapzatra támaszkodik. A rezgő tömeg a gyorsulásával arányos erőt fejt ki a piezoelektromos kristálytárcsákra, amelyek kimenetén a megjelenő feszültség így arányos lesz a terhelő erővel, tehát a rezgő tömeg gyorsulásával. Az [5]-ben található leírás nem tesz említést a rugótárcsa és a piezo-tárcsák rugómerevségi jellemzőiről, de

nyilvánvalóan a rugalmas elemek eredő rugómerevsége és a tömeg alkotja az érzékelő dinamikai modelljének két legfontosabb elemét. A csillapítást itt is valószínűleg olajtöltet biztosítja.



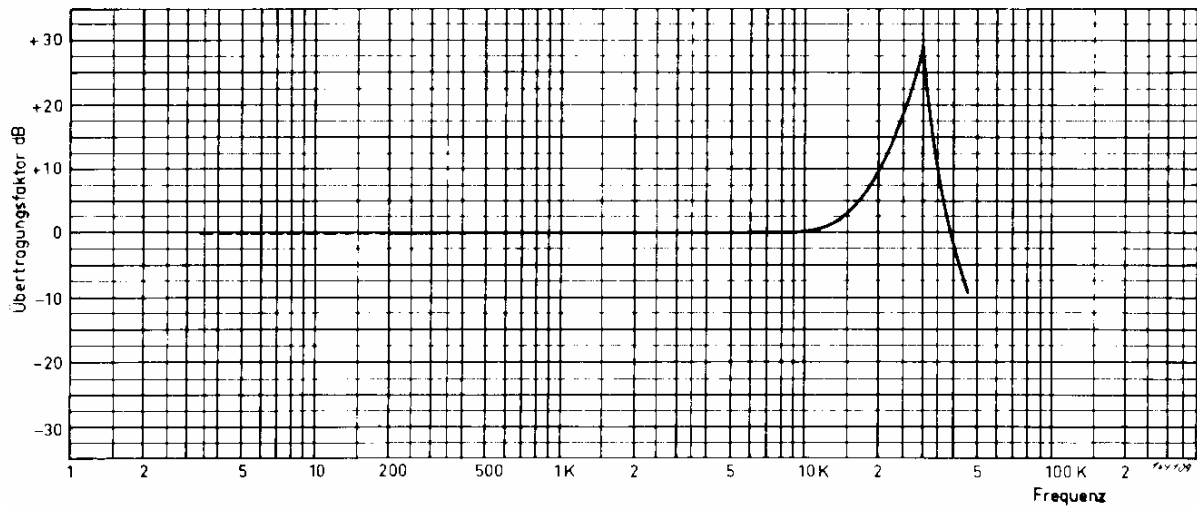
1.16 ábra

Az [5]-ben közölt leírás szerint amíg a környezet rezgésének frekvenciája meg nem közelíti az érzékelő dinamikai modelljének sajátfrekvenciáját, addig az érzékelő tömegének gyorsulása gyakorlatilag megegyezik a környezet gyorsulásával, így a piezoelektromos elven működő gyorsulásérzékelők közvetlenül a mérendő gyorsulással arányos feszültségjelet adnak ki. A 1.17 ábrán bemutatunk egy tipikus átviteli tényezőgörbét [5]-4.13. ábrája alapján, amely emlékeztet a 1.13 ábrán látható görbék közül a kisebb  $D$  csillapítási tényezőjű görbékre. A frekvencia függvényében ábrázolt „átviteli tényező” (übertragungsfaktor) itt is feltehetően a rezgő tömeg és a környezet gyorsulásának a hányadosa, dB-ben kifejezve.

Látható az ábráról, hogy meglehetősen magas az ilyen érzékelők sajátfrekvenciája (sokszorososa az induktív elvű érzékelők sajátfrekvenciájának), 1 Hz és  $\sim 2$  kHz között az átviteli tényező értéke  $\sim 1.0$ . A szokatlanul hegyesnek ábrázolt görbe elég csekély beépített csillapításról árulkodik.

A piezoelektromos működési elvű gyorsulásérzékelők egyik előnye az induktívokéhoz képest a viszonylag magas sajátfrekvencia, így tágabb a mérhető gyorsulás frekvenciatartománya. További előny, hogy közvetlenül feszültségjelet ad a kimenetén, bár ezt természetesen erősíteni kell. Az is fontos előny, hogy a kimenő jel a megengedett frekvenciatartományon belül a jel alakjától függetlenül arányos a mérendő gyorsulással, nem kell tehát feltételezni, hogy a mérendő jel tiszta harmónikus függvény.

A bemutatott előnyöket némiképp elensúlyozza az érzékelők viszonylag magas árából eredő hátrány.



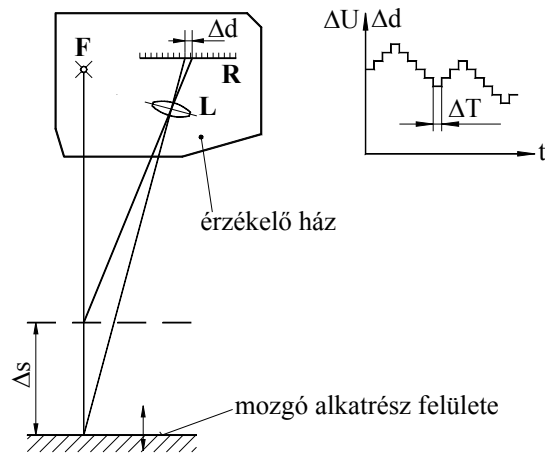
1.17 ábra

Az [5] szakirodalmi forrásműben még sok fontos részlet található a piezoelektromos érzékelők kalibrálására speciálisan gyártott készülékekről, de a piezoelektromos érzékelők esetében is jól használható az 1g nagyságú jel léptékezésére bemutatott egyszerű módszer, amit az induktív gyorsulásérzékelők leírásában mutattunk be.

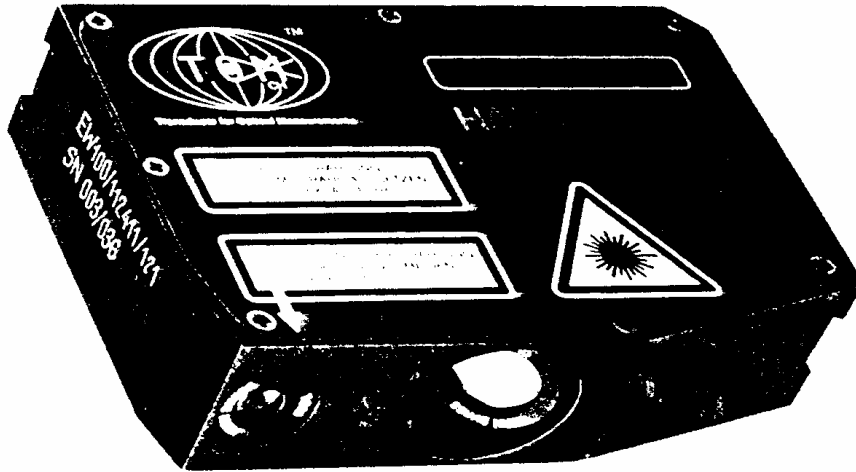
### f/ Lézeres távolságérzékelők

Amíg az induktív elven működő elmozdulás-érzékelő tapintó csúcsának mechanikusan érintkeznie kellett a mérendő alkatrész felületével, addig a lézeres távolság-érzékelőnek nem kell mechanikusan kapcsolódnia a mozgó alkatrészhez, mivel elegendő, ha a felületéről visszaverődik a lézersugár. A működési elvet a 1.18 ábra mutatja be.

Az érzékelő az  $F$  sugárforrásból lézersugarat bocsát ki, amely visszaverődik a mozgó alkatrész felületéről, és az  $L$  lencserendszeren keresztül az  $R$  optoelektronikus érzékelő rácstra esik, amely a lézersugár beesési helyzetét az igen finom raszter-felépítés következtében meglehetősen finom felbontásban képes érzékelni. Így ha a mozgó alkatrész  $\Delta s$  értékkel elmozdul, a lézersugár  $\Delta d$  távolsággal messzebb éri az optoelektronikus rasztert, amely a  $\Delta d$ -vel arányos  $\Delta U$  feszültséget kelt. Ez a feszültség a kimeneten kiolvasható, de bináris kódban (ASCII) is megjelenik a kimeneten. Az optoelektronikus rasztert megadott frekvenciával végigtapogatva, az időben változó  $\Delta U = \Delta U(t)$  feszültség lépcsős függvény alakjában jelenik meg, a lépcső  $\Delta T$  hossza a letapogatás periódus-ideje lesz. A 1.19 ábrán a **HAENNI** cég (USA) által gyártott **EW 100** típusú lézeres távolságérzékelőt mutatjuk be.



1.18 ábra

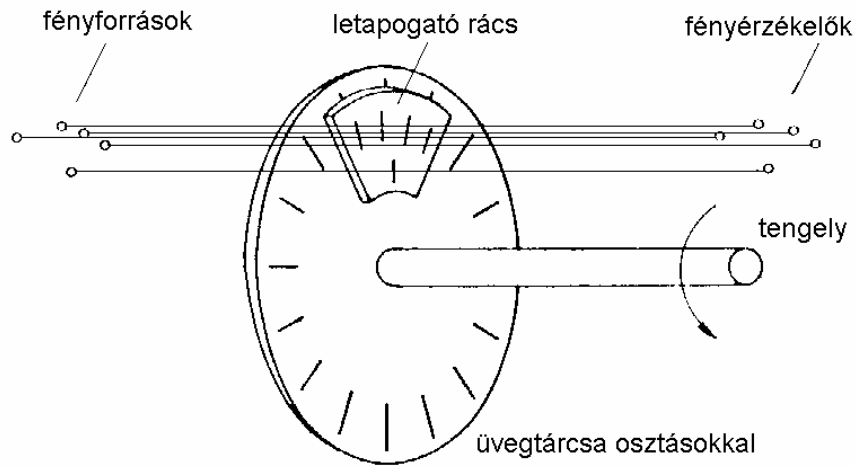


1.19 ábra

### g/ Optoelektronikus szögelfordulás-érzékelők

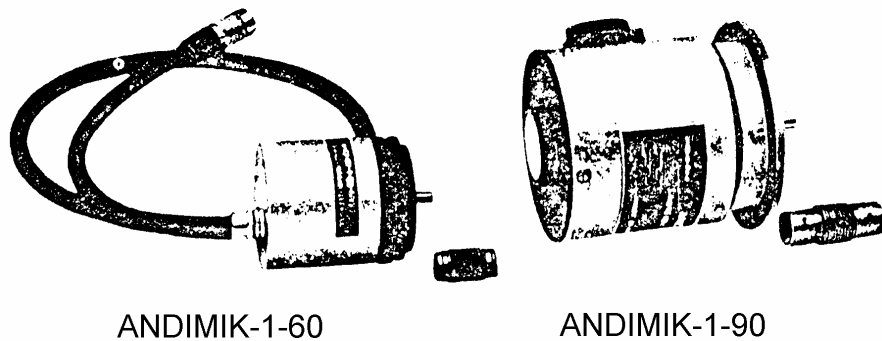
Ezek az érzékelők úgy érzékelik egy forgó gépalkatrész szögelfordulását, hogy a mérendő gépalkatrésszel mereven összekapcsolt tengelyükre épített optikai jelátalakítók segítségével négyszög alakú feszültségimpulzus-sort állítanak elő, ahol egy impulzus a berendezés által érzékelhető legkisebb szögelfordulást jelenti. A működési elvet a 1.20 ábra mutatja be.

## 1.30



1.20 ábra

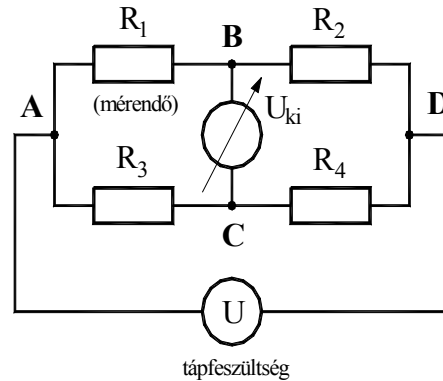
Ilyen érzékelő a Műszeripari Kutató Intézet ANDIMIK-I-60 és ANDIMIK-I-90 típusú optoelektronikus szögelfordulás-érzékelője. Az ANDIMIK-I-60 altípusai 100, 600, 900, vagy 1000 TTL-szintű feszültségimpulzus-sort állítanak elő körülfordulásonként, az ANDIMIK-I-90 altípusai pedig 3600, vagy 7200 impulzust. Így tehát ezek az érzékelő-típusok az alkatrészek szögelfordulását meglehetősen nagy pontossággal érzékelik. Megmérve az impulzusok frekvenciáját, a forgó alkatrész szögsebességét (fordulatszámát) folyamatosan is mérhetjük. Az említett két érzékelő az 1.21 ábrán látható.



1.21 ábra

### 1.3.2 Mérőerősítők

Amint azt az előbbieken több érzékelőnél is megemlítettük, méréssel kell meghatározni az érzékelők megváltozott ohmikus ellenállását, induktivitását, stb. és erre a gyakorlatban a legáltalánosabban használt módszer a **Wheatstone-híd** (1.8 ábra), továbbá azt is említettük, hogy a híd egyik ellenállásának megfelelő változtatásával végzett kiegyenlítés nem járható út időben változó mérési jelek, tehát időben változó  $R$  ellenállás esetén. A gyakorlatban erre az a módszer terjedt el, hogy a híd  $R_3$  és  $R_4$  ellenállását ismertnek tételezik fel, és egyszerűen megméri a híd ki nem egyenlített  $U_{ki}$  feszültségét (1.22 ábra) :



1.22 ábra

Az  $U_{ki}$  feszültség értéke nyilvánvalóan az ellenállásoktól és a tápfeszültségtől függ. Mivel feszültséget mérünk, ezzel meg van oldva egyrészt a jelátalakítás problémája (felületi nyúlás – ohmos ellenállásváltozás – villamos feszültség változása), másrészt az erősítés problémája is, ezért nevezik ezt a berendezést **mérőerősítőnek**. A mérés-technikai gyakorlatban nemcsak egyetlen ellenállás lehet ismeretlen, a gyakorlatban előforduló fontosabb eseteket az alábbiakban ismertetjük, megmutatva, hogy az  $U_{ki}$  feszültség a mérendő ellenállás(ok)nak mindig – jó közelítéssel - lineáris függvénye lesz. További megjegyzés, hogy nemcsak ohmikus ellenállásokból állhat a mérőhíd, hanem pl. induktív ellenállás is, pl. az induktív elmozdulás-érzékelők, vagy induktív gyorsulásérzékelők induktancia-változását is ugyanígy lehet mérni.

Manapság a mérőerősítőket úgy építik, hogy egyik felhasználási változatukban az  $R_3$  és  $R_4$  ellenállásokat eleve beépítik azonos értékkel (a további levezetésekben ezeket  $R_C$  –vel jelöljük, ilyenkor az  $R_1$  és/vagy  $R_2$  ellenállás értéke változik, ezt nevezik „fél-hídnak”. Ilyenkor a híd A, B és D pontját (lásd a 1.22 ábrát) kell csatlakoztatni a mérőerősítő megfelelő pontjaihoz. Más esetben mind a négy ellenállás értéke változik, ez az ú. n. „teljes híd” esete, ilyenkor az A, B, C és D pontot mind csatlakoztatni kell a mérőerősítő megfelelő emeneti pontjaihoz.

A mérőerősítőket mindig úgy építik, hogy a vizuális megfigyelés lehetővé tételére mérőműszert is építenek be a mérőerősítőbe. Korábban mutatós (Deprez rendszerű) feszültségmérővel, manapság digitális kijelzésű műszerrel szerelik fel a mérőerősítőket. Így a lassan változó, vagy statikus jellemzők mérési eredményei közvetlenül is leolvashatók. Változó mennyiségek mérése esetén az  $U_{ki}$  feszültség kimenetére alkalmas regisztráló, vagy értékelő berendezést kell csatlakoztatni. Az 1.23 ábrán a Hottinger gyártmányú KWS 82 típusú mérőerősítő látható, az 1.24 ábra a.DMP 4.0 típusú mérőerősítőt mutatja be.



1.23 ábra



1.24 ábra

Az alábbiakban bemutatjuk a leghasználatosabb mérőbéllyeg-elrendezéseket és mérőhíd-kapcsolásokat.

### 1.3.2.1 A mérendő jellemzőt egyetlen bélyeg érzékeli

Ez az eset pl. az 1.9 ábrán bemutatott  $R_1$  nyúlásmérő bélyeg esete, egyelőre tekintünk el a hőmérséklet-kompenzáló bélyegtől. A mérőhídban az  $R_2$  bélyeget célszerű az  $R_1$  bélyeggel azonos típusúnak megválasztani, az általánosság érdekében legyen  $R_1 = R$  és  $R_2 = R_0$ , tehát terheletlen állapotban (nullázáskor)  $R_1 = R_0$ , ekkor írható, hogy a mérendő bélyeg megváltozott értéke:

$$R = R_0 + \Delta R,$$

továbbá a gyakorlatban  $R_3$  és  $R_4$  értékét ugyancsak célszerű egyenlőnek választani, így legyen :

$$R_3 = R_4 = R_C$$

Ekkor írhatjuk, hogy a mérendő  $R$  ellenállás megváltozott értéke :

$$\Delta R = R - R_0$$

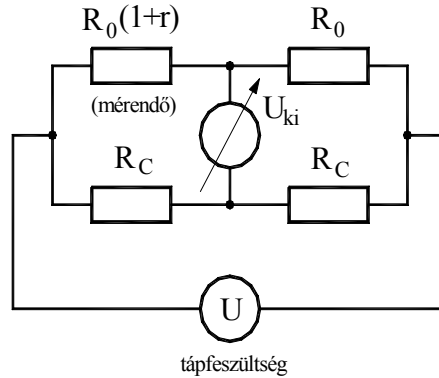


### 1.33

Célszerű az  $r$  fajlagos ellenállás-változás értékének bevezetése :

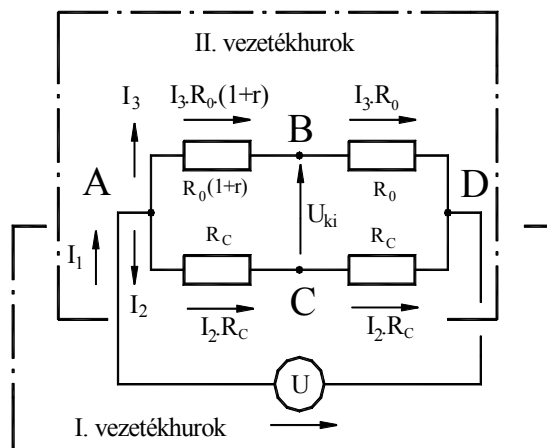
$$r = \frac{\Delta R}{R_0} = \frac{R - R_0}{R_0} ; \text{ ahonnan: } R = R_0 \cdot (1 + r)$$

A híd most a 1.25 ábrán látható elemekből áll.



1.25 ábra

Írjuk fel az  $U_{ki}$  kimenő feszültség és az ellenállások közötti összefüggést, alkalmazva **Kirchhoff** törvényeit két vezetőlúponra. A számításokban a tápfeszültség-forrás belső ellenállását elhanyagolhatjuk ( $R_{belső} \cong 0$ ), mivel ez általában mindig csekély értékű szokott lenni, az  $U_{ki}$  feszültséget mérő berendezés belső ellenállása viszont általában igen nagy, tehát rajta áram gyakorlatilag nem folyik, ezért ezt az ágot egyszerűen elhanyagoljuk. Az ilyen számításokban szokásos módon felvesszük az egyes ágakban az áramok irányát, és a tápfeszültség értelmét az ágakban bekövetkező feszültségesséssel ellentétes értelemben vesszük fel. Az 1.26 ábra bemutatja a számításokhoz szükséges két vezetőlúkot, az áram- és feszültségirányokkal együtt:



1.26 ábra

Az I. vezetőhurkot csak az  $U$  áramforrás és a két  $R_0$  ellenállás alkotja ( $U - A - C - D - U$  kör), ebben a körben az  $U$  tápfeszültség (ellentétes az  $I_1$  áram irányával) és a két  $R_C$  ellenálláson eső  $I_2 \cdot R_C$  feszültségek vannak egyensúlyban:

$$I_2 \cdot R_C + I_2 \cdot R_C - U = 0$$

Végül a II. vezetőhurkot az  $R_0 \cdot (1+r)$ , az  $R_0$ , valamint a két  $R_C$  ellenállás alkotja ( $A - B - D - C - A$  csomópontok által alkotott hurok). A feszültségesések algebrai összege:

$$I_3 \cdot R_0 \cdot (1+r) + I_3 \cdot R_0 - I_2 \cdot R_C - I_2 \cdot R_C = 0$$

A két lineáris algebrai egyenletben két ismeretlen van:  $I_2$  és  $I_3$ . Az első egyenletből  $I_2$ -t kifejezve kapjuk:

$$I_2 = \frac{U}{2 \cdot R_C}$$

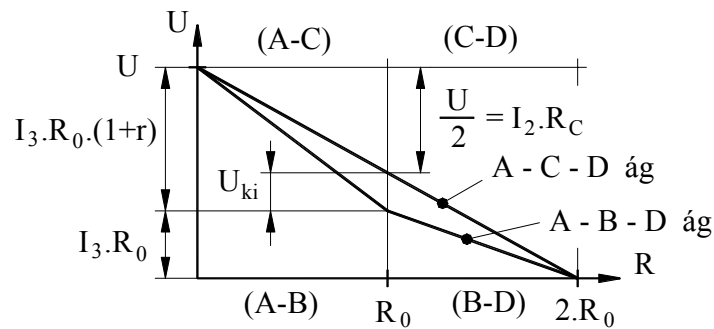
Ezt behelyettesítve a második egyenletbe, kapjuk:

$$I_3 \cdot R_0 \cdot (1+r) + I_3 \cdot R_0 - \frac{U}{2 \cdot R_C} \cdot R_C - \frac{U}{2 \cdot R_C} \cdot R_C = 0 \quad , \quad \text{amelyből:}$$

$$I_3 \cdot R_0 \cdot (2+r) = U \quad ; \quad \text{ahonnan:}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_0 \cdot (2+r)}$$

Az ismeretlen  $U_{ki}$  feszültség az  $A - B$  és  $A - C$  áramkör-szakaszokon fellépő feszültségesések közötti különbség lesz. Az 1.27 ábra mutatja be a két ágban a feszültségek esését:



1.27 ábra

Az  $A - C$  szakaszon a feszültségesés:  $\frac{U}{2} = I_2 \cdot R_C$ , ugyanakkor az  $A - B$  szakaszon a feszültség  $I_3 \cdot R_0 \cdot (1+r)$  értékkel csökken. A két esés különbsége lesz a mérendő  $U_{ki}$  feszültség (behelyettesítve  $I_3$ -nak az előbb levezetett képletét):

$$U_{ki} = I_3 \cdot R_0 \cdot (1+r) - I_2 \cdot R_C = \frac{U}{R_0 \cdot (2+r)} \cdot R_0 \cdot (1+r) - \frac{U}{2 \cdot R_C} \cdot R_C = U \cdot \left[ \frac{1+r}{2+r} - \frac{1}{2} \right] =$$

$$= U \cdot \frac{2+2r-2-r}{2 \cdot (2+r)} = U \cdot \frac{r}{2 \cdot (2+r)} = U \cdot \frac{r}{4+2r}$$

Mivel a nyúlásmérési gyakorlatban a mért ellenállásváltozások kicsik, a fajlagos  $r$  ellenállásváltozás is kicsi, ennél fogva a  $2 \cdot r$  mennyiség is csekély 4-hez képest :

$$4 \gg \gg 2 \cdot r ;$$

ezért írható :

$$U_{ki} \cong U \cdot \frac{r}{4} ;$$

tehát a mért  $U_{ki}$  feszültség jó közelítéssel arányos az  $r$  fajlagos ellenállásváltozással. Hasonló eredményt kaphatunk az  $\varepsilon$  fajlagos hosszváltozásra is :

$$r = 4 \cdot \frac{U_{ki}}{U} ; \text{továbbá } r = k \cdot \varepsilon ; \text{innen}$$

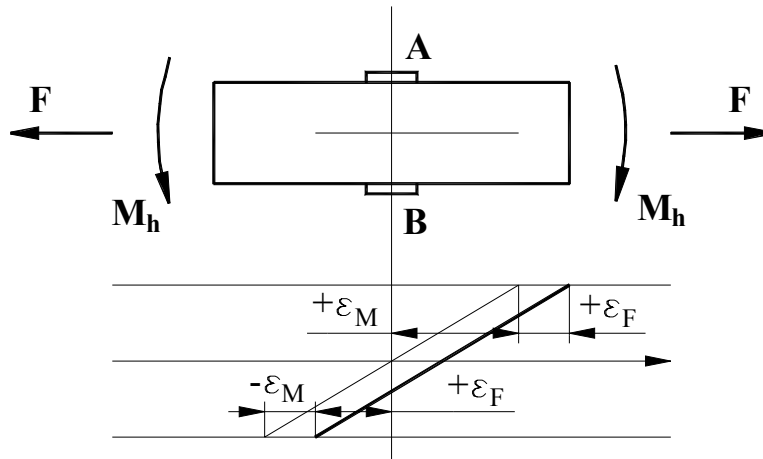
$$\varepsilon = \frac{r}{k} = \frac{4}{k \cdot U} \cdot U_{ki} ;$$

tehát az  $\varepsilon$  fajlagos hosszváltozás is arányos  $U_{ki}$ -vel.

### 1.3.2.2 A mérendő jellemzőt két bélyeg érzékeli

Bizonyos mechanikai igénybevételek mérése esetén, különösen a hajlítás okozta húzófeszültségek mérésénél a mérőhíd érzékenységét növelni lehet azáltal, ha kihasználjuk azt a jelenséget, hogy a mérendő húzófeszültség – pontosabban az ébredő nyúlás – egyidejűleg ellentétes értelmű alakban is fellép, mint pl. a hajlított tartó alsó és felső felületén ébredő nyúlás (1.28 ábra). A hajlított tartókat az esetek többségében hosszirányú húzás-nyomás is terheli, ami – hasonló fajlagos nyúlást ébresztve – meghamisítja a hajlítás okozta deformációk mérését.

Az 1.28. ábra felső része a tartót, az alsó része a mért fajlagos nyúlásokat mutatja. Látható, hogy a tartót  $\mathbf{M}_h$  hajlítónyomaték és  $\mathbf{F}$  húzóerő terheli, a tartó felső felületére az  $\mathbf{A}$  bélyeget, az alsó felületére a  $\mathbf{B}$  bélyeget ragasztották. Így az  $\mathbf{A}$  bélyeg az  $\mathbf{M}_h$  hajlítónyomaték okozta pozitív  $+\varepsilon_M$  nyúlásnak és az  $\mathbf{F}$  húzóerő okozta ugyancsak pozitív  $+\varepsilon_F$  nyúlásnak az összegét érzékeli, míg az alsó  $\mathbf{B}$  bélyeg a negatív  $-\varepsilon_M$  és a pozitív  $+\varepsilon_F$  nyúlások **összegét méri.**



1.28 ábra

Ha a tartó keresztmetszete  $A_t$ , a keresztmetszeti tényezője  $K_z$ , a mért nyúlások értéke:

$$+\varepsilon_M = \frac{\sigma_M}{E} = \frac{M_h}{E \cdot K_t} ; \text{ továbbá}$$

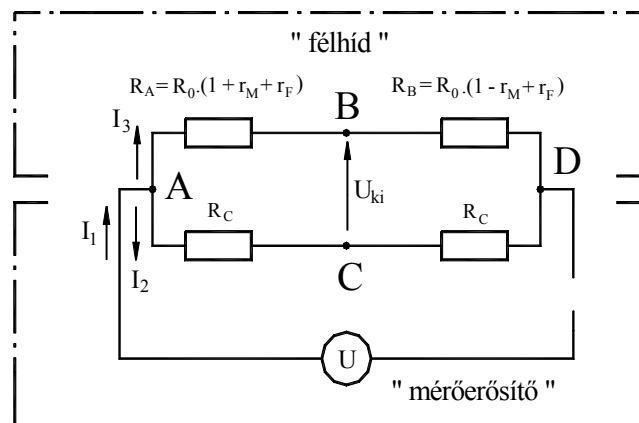
$$+\varepsilon_F = \frac{\Delta l}{l} = \frac{F}{A_t \cdot E} ,$$

ezekkel a mért fajlagos  $r_M$  és  $r_F$  ellenállásváltozások:

$$r_M = k \cdot \varepsilon_M \text{ és}$$

$$r_F = k \cdot \varepsilon_F$$

Ha a két nyúlásmérő bélyeg azonos kivitelű és a terheletlen állapothoz tartozó ellenállásuk  $R_0$ , akkor a mérőhíd az 1. 29 ábrán látható elrendezésű lesz:



1.29 ábra

Az 1.26 ábránál bemutatott módon itt is felírhatjuk Kirchhoff törvényei alapján egyrészt az **A – D – U – A** körön eső feszültségek összegét:

$$2.I_2.R_C - U = 0 \text{ ; innen:}$$

$$I_2 = \frac{U}{2.R_C} \text{ ;}$$

másrészt az **A – B – D – C – A** körön eső feszültségek összege:

$$I_3.R_0.(1 + r_M + r_F) + I_3.R_0.(1 - r_M + r_F) - 2.I_2.R_C = 0 \text{ ; ebből:}$$

$$I_3.R_0 + I_3.R_0.r_M + I_3.R_0.r_F + I_3.R_0 - I_3.R_0.r_M + I_3.R_0.r_F - 2.I_2.R_C = 0$$

behelyettesítve  $I_2$  képletét, kapjuk: 
$$I_3 = \frac{U}{2.R_0.(1 + r_F)}$$

Az  $U_{ki}$  feszültség az **A – B**, illetve az **A – C** ágakon eső feszültségek különbsége lesz:

$$\begin{aligned} U_{ki} &= U_{A-B} - U_{A-C} = I_3.R_0.(1 + r_M + r_F) - \frac{U}{2} = \frac{U}{2.R_0.(1 + r_F)}.R_0.(1 + r_M + r_F) - \frac{U}{2} = \\ &= U \cdot \frac{r_M}{2.(1 + r_F)} \end{aligned}$$

Mivel  $r_F$  értéke **1** mellett elhanyagolható:

$$1 \gg r_F \text{ ;}$$

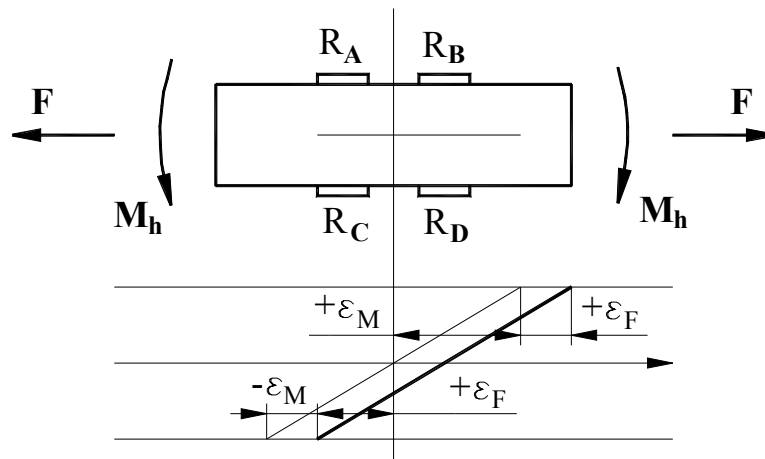
ezért: 
$$U_{ki} \cong U \cdot \frac{r_M}{2} = \frac{U}{2} \cdot k \cdot \varepsilon_N = \frac{U}{2} \cdot k \cdot \frac{M_h}{E.K_z} = C.M_h$$

tehát az  $U_{ki}$  feszültség arányos a terhelő  $M_h$  hajlítónyomatékkal, továbbá ez a kapcsolat éppen kétszeres érzékenységgű az egyetlen bélyegnél levezetett  $U \cdot \frac{r}{4}$  - hez képest. További fontos eredmény, hogy az  $U_{ki}$  feszültség a húzóerő által ébresztett  $r_F$  fajlagos ellenállásváltozástól független, tehát az  $R_A$  és  $R_B$  bélyegek együttes alkalmazása egyrészt javítja a mérőhíd érzékenységét, másrészt kiszűri az esetleges húzó-nyomó igénybevétel által keltett zavaró feszültségjelet.

Ebben az esetben is az  $R_A$  és az  $R_B$  bélyegek a „félhidat” alkotják, a mérőerősítőhöz tehát az **A**, **B** és **D** pontokat kell csatlakoztatni.

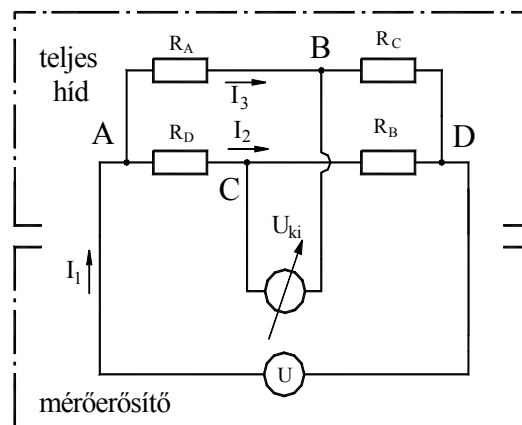
### 1.3.2.3 Hajlítónyomaték mérése négy bélyeggel, a húzóerő hatásának kiszűrése

A mérőerősítő érzékenységét tovább fokozhatjuk, ha az 1.26 ábrán bemutatott terhelési esetben ébredő feszültségeket négy bélyeggel mérjük (1.30 ábra):



1.30 ábra

A mérési feladat most is az, hogy egyrészt meg kell mérni a terhelő  $M_h$  hajlító nyomatékot, másrészt a mért feszültségjelből le kell választani (ki kell szűrni) a várhatóan szintén fellépő  $F$  húzó-nyomó erő jelét. Az 1.31 ábrán látható az alkalmazott mérőhíd kapcsolása, itt a négy nyúlásmérő bélyeg a teljes mérőhídat alkotja.



1.31 ábra

A híd akkor fogja érzékelni a hajlító nyomaték által keltett nyúlásokat, ha a **B**, illetve **C** csomópontok bal- és jobboldalán a hajlítás miatt ellentétesen változó ellenállásokat kapcsolunk, ezért került az  $R_A$  és az  $R_C$  a felső ágba, az  $R_D$  és az  $R_B$  pedig az alsóba.

Mivel a négy mérőbélyeg kiteszi a teljes mérőhídat, a négy csatlakozási pont (**A**, **B**, **C** és **D**) mindegyikét be kell kötni a mérőerősítőbe. Az  $R_A$  és  $R_B$ , valamint az  $R_C$  és  $R_D$  bélyegeket a tartó hossz tengelyével párhuzamosan kell a tartóra ragasztani, a tartó ellentétes oldalára, az egy oldali bélyegeket célszerű egymáshoz minél közelebb elhelyezni. Ekkor feltételezhető, hogy a terhelés hatására a bélyegek eredeti  $R_0$  ellenállása az alábbi módon változik:

$$R_A = R_B = R_0 \cdot (1 + r_M + r_F) ; \text{ valamint}$$

$$R_C = R_D = R_0 \cdot (1 - r_M + r_F) ;$$

ahol az  $r_M$  és  $r_F$  fajlagos ellenállásváltozások összefüggései megegyeznek az előző, a 1.3.2.2 fejezetben alkalmazottakkal.

A **Kirchhoff** - huroktörvényt most is először az **U** tápfeszültség, valamint az **R<sub>D</sub>** és az **R<sub>B</sub>** bélyegek által alkotott körre alkalmazzuk:

$$I_2 \cdot R_D + I_2 \cdot R_B - U = 0 ; \text{ behelyettesítve:}$$

$$I_2 \cdot R_0 \cdot (1 - r_M + r_F) + I_2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_M + r_F) - U = 0$$

$$\text{innen: } I_2 = \frac{U}{2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F)}$$

Ezután az **A – B – D – C – A** pontok által alkotott hurok következik:

$$I_3 \cdot R_A + I_3 \cdot R_C - I_2 \cdot R_B - I_2 \cdot R_D = 0$$

$$I_3 \cdot R_0 \cdot (1 + r_M + r_F) + I_3 \cdot R_0 \cdot (1 - r_M + r_F) - I_2 \cdot R_0 \cdot (1 - r_M + r_F) - I_2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_M + r_F) = 0$$

$$\text{Rendezve: } 2 \cdot I_3 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F) - 2 \cdot I_2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F) = 0$$

Behelyettesítve **I<sub>2</sub>** képletét, az összefüggés a következő lesz:

$$2 \cdot I_3 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F) - U = 0 ; \text{ ahonnan:}$$

$$I_3 = \frac{U}{2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F)} = I_2$$

Az **U<sub>ki</sub>** kimeneti feszültség az **A – B**, és az **A – C** ágakon eső feszültségek különbsége lesz:

$$\begin{aligned} U_{ki} &= U_{A-B} - U_{A-C} = I_3 \cdot R_A - I_2 \cdot R_D = \\ &= \frac{U}{2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F)} \cdot R_0 \cdot (1 + r_M + r_F) - \frac{U}{2 \cdot R_0 \cdot (1 + r_F)} \cdot R_0 \cdot (1 - r_M + r_F) = \\ &= \frac{U}{2} \cdot \left[ \frac{1 + r_M + r_F - (1 - r_M + r_F)}{1 + r_F} \right] = \frac{2 \cdot r_M \cdot U}{2 \cdot (1 + r_F)} = U \cdot \frac{r_M}{1 + r_F} \end{aligned}$$

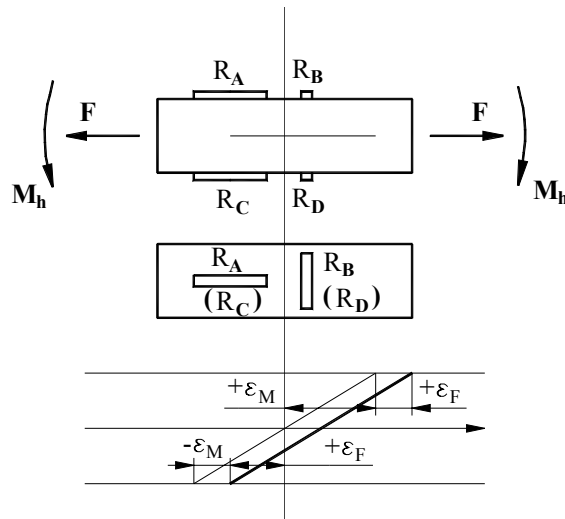
Az előző fejezet gondolatmenetéhez hasonlóan írhatjuk:  $r_F \lll 1$  ; tehát:

$$U_{ki} \cong U \cdot r_M = U \cdot k \cdot \frac{M_h}{E \cdot K_z} = C \cdot M_h$$

tehát **U<sub>ki</sub>** egyrészt arányos az **M<sub>h</sub>** hajlítónyomatékkal, másrészt kétszerese a két mérőbélyeggel mérhető kimeneti feszültségnek, továbbá négyszerese az egyetlen bélyeggel mérhető **U<sub>ki</sub>** feszültségnek.

### 1.3.2.4 Húzó-nyomó terhelés mérése négy bélyeggel, a hajlítás hatásának kiszűrése

Nemcsak a hajlítási igénybevételhez társul rendszerint húzó-nyomó igénybevétel, a húzó-nyomó terheléshez is kapcsolódhat járulékos hajlítás. Pl. egy felfüggesztő elem-ben ébredő húzó-nyomó igénybevétel mérése esetén a húzáshoz társulhat hajlítás is, ha a húzóerő excentrikusan terheli a felfüggesztő elemet. Ilyenkor a járulékos hajlítás okozta feszültség-jelet kell leválasztani (kiszűrni) a húzás-nyomás feszültségjeléből. Egy lehetséges bélyegrendezés a 1.32 ábrán látható:



1.32 ábra

Az  $R_A$  és  $R_B$ , valamint az  $R_C$  és  $R_D$  bélyegeket egymásra merőlegesen és egymáshoz lehetőleg közel kell felragasztani. A tartó keresztmetszete  $A_k$ , keresztmetszeti tényezője  $K_z$

Az 1.32 ábrán feltüntetett előjelű terhelések esetén az egyes bélyegek helyén ébredő nyúlások és a hozzájuk tartozó fajlagos elenállásváltozások a következők lesznek:

$$R_A \text{ bélyeg: húzóerőtől: } \epsilon_{A,F} = \frac{F}{E \cdot A_k} ; \quad r_{A,F} = k \cdot \epsilon_{A,F} = k \cdot \frac{F}{E \cdot A_k}$$

$$\text{hajlítástól: } \epsilon_{A,M} = \frac{M_h}{E \cdot K_z} ; \quad r_{A,M} = k \cdot \epsilon_{A,M} = k \cdot \frac{M_h}{E \cdot K_z}$$

$R_B$  bélyeg: csak a húzóerő-okozta kontrakciót érzékeli, a hajlítás nem okoz keresztirányú hosszváltozást:  $\epsilon_{B,F} = -\nu \cdot \epsilon_{A,F} = -\nu \cdot \frac{F}{E \cdot A_k} ; \quad r_{B,F} = k \cdot \epsilon_{B,F} = -k \cdot \nu \cdot \frac{F}{E \cdot A_k}$

(ahol  $\nu$  : Poisson-állandó,  $\nu = 0,28$ )



## 1.41

$$\begin{aligned}
 \mathbf{R}_C \text{ bélyeg: húzóerőtől: } & \varepsilon_{C,F} = \varepsilon_{A,F} = \frac{F}{E \cdot A_k}, & r_{C,F} = k \cdot \varepsilon_{C,F} = k \cdot \frac{F}{E \cdot A_k} \\
 \text{hajlítástól:} & \varepsilon_{C,M} = -\varepsilon_{A,M} = -\frac{M_h}{E \cdot K_z}, & r_{C,M} = k \cdot \varepsilon_{C,M} = -k \cdot \frac{M_h}{E \cdot K_z} \\
 \mathbf{R}_D \text{ bélyeg: csak a húzóerőtől: } & \varepsilon_{D,F} = \varepsilon_{B,F} = -\nu \cdot \frac{F}{E \cdot A_k}, & r_{D,F} = k \cdot \varepsilon_{D,F} = -k \cdot \nu \cdot \frac{F}{E \cdot A_k}
 \end{aligned}$$

Feltételezve, hogy a négy bélyeg azonos típusú, és terheletlen állapotban az ellenállásuk  $\mathbf{R}_0$ , a megváltozott ellenállásuk értékei:

$$R_A = R_0 \cdot (1 + r_{A,F} + r_{A,M})$$

$$R_B = R_0 \cdot (1 + r_{B,F})$$

$$R_C = R_0 \cdot (1 + r_{C,F} + r_{C,M})$$

$$R_D = R_0 \cdot (1 + r_{D,F})$$

Használjuk ki az alábbi összefüggéseket:

$$r_{B,F} = -\nu \cdot r_{A,F}$$

$$r_{C,F} = r_{A,F}$$

$$r_{C,M} = -r_{A,M}$$

$$r_{D,F} = r_{B,F} = -\nu \cdot r_{A,F}$$

Ezekkel az összefüggésekkel a bélyegek megváltozott ellenállása:

$$R_A = R_0 \cdot (1 + r_{A,F} + r_{A,M})$$

$$R_B = R_0 \cdot (1 - \nu \cdot r_{A,F})$$

$$R_C = R_0 \cdot (1 + r_{A,F} - r_{A,M})$$

$$R_D = R_0 \cdot (1 - \nu \cdot r_{A,F})$$

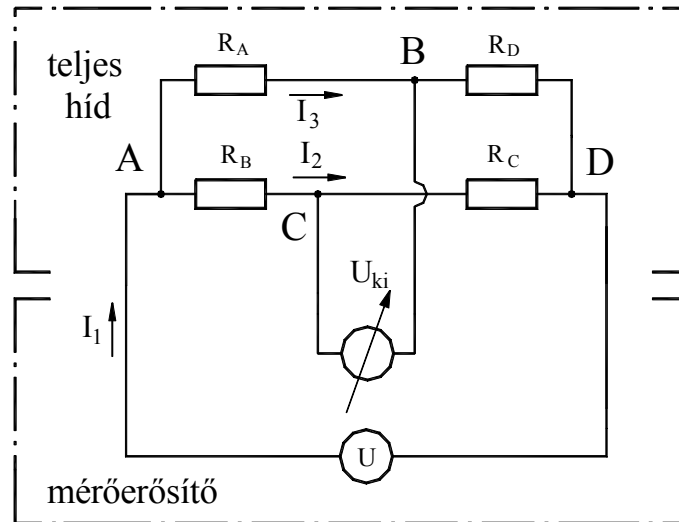
A húzóerő mérése és a járulékos hajlítás kiszűrése céljából a négy bélyeget az 1.33 ábrán látható mérőhídba kell kapcsolnunk:

Az  $\mathbf{U}_{ki}$  feszültség meghatározása céljából írjuk fel a villamos feszültségek összegét először az  $\mathbf{A} - \mathbf{C} - \mathbf{D} - \mathbf{U} - \mathbf{A}$  hurokban:

$$I_2 \cdot R_B + I_2 \cdot R_C - U = 0$$

Kifejezve  $\mathbf{I}_2$  értékét és behelyettesítve a fajlagos ellenállásváltozások értékeit, kapjuk:

$$I_2 = \frac{U}{R_B + R_C} = \frac{U}{R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}]}$$



1.33 ábra

A feszültségek összege az **A – B – D – C – A** hurokban:

$$I_3 \cdot R_A + I_3 \cdot R_D - I_2 \cdot R_C - I_2 \cdot R_B = 0$$

Behelyettesítve a fajlagos ellenállásváltozások összefüggéseit, kapjuk:

$$\begin{aligned} I_3 \cdot (R_A + R_D) - I_2 \cdot (R_C + R_B) &= \\ = I_3 \cdot R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}] - I_2 \cdot R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}] &= 0 \end{aligned}$$

$I_2$  képletét behelyettesítve kapjuk:

$$\begin{aligned} I_3 \cdot R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}] - \frac{U}{2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}} \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}] &= \\ = I_3 \cdot R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}] = 0 \quad , \text{ ahonnan:} \end{aligned}$$

$$I_3 = \frac{U}{R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}]}$$

A mért  $U_{ki}$  feszültség az **A – B** és az **A – C** szakaszokon eső feszültség különbsége lesz:

$$\begin{aligned}
U_{ki} &= U_{A-B} - U_{A-C} = I_3 \cdot R_A - I_2 \cdot R_B = \\
&= \frac{U}{R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}]} \cdot R_A - \frac{U}{R_0 \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}]} \cdot R_B = \\
&= \frac{U}{R_0} \left\{ \frac{R_0 \cdot (1 + r_{A,F} + r_{A,M}) [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}]}{[2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}] [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}]} \right\} - \\
&\quad - \frac{U}{R_0} \left\{ \frac{R_0 \cdot (1 - \nu \cdot r_{A,F}) \cdot [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}]}{[2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}] [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}]} \right\}
\end{aligned}$$

Összevonva a két törtet és elvégezve a kijelölt műveleteket, elhanyagolhatjuk a fajlagos ellenállásváltozások négyzetét, illetve vegyes szorzatát, majd a kimenő  $U_{ki}$  feszültségre kapjuk:

$$\begin{aligned}
U_{ki} &= U \cdot \frac{2 - 2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - (1-\nu) \cdot r_{A,F} + 2 \cdot r_{A,F} + 2 \cdot \nu \cdot r_{A,F} + r_{A,M} - r_{A,M}}{[2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} + r_{A,M}] [2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F} - r_{A,M}]} = \\
&= U \cdot \frac{2 \cdot (1+\nu) \cdot r_{A,F}}{[2 + (1-\nu) \cdot r_{A,F}]^2 - r_{A,M}^2} = U \cdot \frac{2 \cdot (1+\nu) \cdot r_{A,F}}{4 + 2 \cdot r_{A,F} - 2 \cdot \nu \cdot r_{A,F}}
\end{aligned}$$

Végül végrehajtva a korábbi levezetésekben is megtett elhanyagolásokat, írhatjuk:

ha  $4 \gg \gg 2 \cdot r_{A,F}$ , és  $4 \gg \gg 2 \cdot \nu \cdot r_{A,F}$ , akkor:

$$U_{ki} \cong U \cdot \frac{1+\nu}{2} \cdot r_{A,F} = U \cdot \frac{1+\nu}{2} \cdot k \cdot \frac{F}{E \cdot A_k} = C \cdot F$$

Tehát az alkalmazott kapcsolással egyrészt kiszűrtük a járulékos hajlítás zavaró feszültségjelét, másrészt a kapott eredmény szerint a mért  $U_{ki}$  feszültség arányos az  $F$  terhelőerővel.

### 1.3.3 Jelrögzítő berendezések

A manapság használatos jelrögzítő berendezéseket két nagy csoportra lehet osztani: ezek a grafikus és a mágneses jelrögzítő berendezések

#### 1.3.3.1 Grafikus jelrögzítő berendezések

Az a legfontosabb tulajdonságuk, hogy a grafikusan rögzített jel szabad szemmel, nyomban látható, ellenőrizhető. Ezt az előnyt azonban erősen ellensúlyozzák azok a hátrányok, amelyek a grafikus rögzítési módból erednek: a leolvasás pontossága nem csökkenthető néhány százalék alá, ez már meghatározza az értékelés pontosságát és

megbízhatóságát, és az értékelés így is csak viszonylag lassan változó jelek esetében hajtható végre, így csak bizonyos egyszerű értékelési módszerek alkalmazhatók.

Sokféle grafikus jelrögzítő berendezés van használatban, legalábbis a legutóbbi időkhöz, pl. a vasúti vontató járműveken sok évtizeden át volt alkalmazva ilyen típusú sebesség-idő regisztráló műszer, de léteznek nagyobb méretű, sokcsatornás készülékek is. Általában akkor használják ezeket, amikor csak bizonyos egyszerű döntéseket kell hozni, vagy amikor szemrevételezéssel is fel lehet ismerni egy fontosabb jellemzőt, pl. a vasúti pálya adatainak regisztrálása során a pálya vonalvezetési hibái meghaladtak-e jelentősen valamilyen határértéket. A regisztrált jel értékelésénél használható módszerek itt is alkalmazkodnia kell a leolvasás pontossági korlátaihoz.

### 1.3.3.2 Mágneses jelrögzítő berendezések

A mágneses jelrögzítő berendezések mágnesszalagra, vagy mágneslemezre (floppy lemez, merev lemez, számítógép memóriája, stb.) rögzítik a mérési jelet. A rögzített jel formája lehet analóg (az eredeti jellel folytonosan, analóg módon, tehát pontról pontra arányosan változó alakú), vagy digitális (megfelelő darabszámú számjegyek sorozata).

A mágneses jelrögzítés általános jellemzője, szabad szemmel ugyan nem látható (ez is magyarázza a kezdetben a mágneses rögzítési móddal szemben tanúsított bizalmatlanságot), viszont megfelelő berendezéssel a rögzített jelek újra lejátszhatók, megtekinthetők, kiolvashatók, és a grafikus jelrögzítés értékelési lehetőségeihez képest sokkal kiterjedtebb értékelési módszerek alkalmazására van lehetőség, különösen, ha a jel már digitális formában áll rendelkezésre, illetve átalakítottuk digitális formájúvá.

Az analóg mágneses jelrögzítés a mérési jelet mágnesszalagra rögzíti ugyanolyan folytonos feszültség-idő függvény alakjában, mint az eredeti mérendő fizikai mennyiség. Ezek a berendezések a mágnesszalagra vivőfrekvenciás alakban rögzítik a mért feszültség-idő jelet, a visszajátszás során analóg módon változó feszültségjelet adnak ki. Általában többszatornás berendezések, széles (1/2 ") szalagra pl. 14 mérési csatorna és egy hangcsatorna rögzíthető (Philips ANA-LOG 14), de van már kereskedelmi hangkazettára 5 csatornát rögzítő berendezés is. Az eddigi tapasztalatok szerint ezek a típusok gyorsan változnak, beleértve a gyártókat is, általában nem biztos, hogy néhány év múlva egy bizonyos mágnesszalagos egység még ugyanannak a gyárnak a katalógusában lesz megtalálható. Érdekességképpen megemlíthetjük, hogy az analóg mágnesszalagos rögzítőknek a piacon tapasztalható hiánya következtében egy osztrák cég megpróbálkozott kereskedelmi videomagnetofon alkalmazásával úgy, hogy megfelelő adaptert használt mind a bemeneten, mind a kimeneten. Azóta erről a típusról nem jelent meg publikáció.

A digitális jelrögzítés a mérési jelet diszkrét számértékek halmaza formájában rögzíti és tárolja. Ehhez az szükséges, hogy az eredetileg folytonosan változó fizikai mennyiség mérését nem folytonosan, hanem meghatározott (esetenként igen sűrűn,

több kHz frekvenciával) mérjük meg és a mérési eredményt digitális alakban rögzítsék. A mérési gyakorlatban az is sokszor előfordul, hogy a mérési jelet analóg formában rögzítik mágnesszalagra, majd visszajátszás során alakítják át digitális számértékek halmazává (A/D konverzió), és ezt rögzítik megfelelő digitális alakban. Kezdetben a mágneses adathordozók kis kapacitása korábban az analóg mágnesszalagok kapacitása bőségesen meghaladta a digitális adathordozók kapacitását, de ez utóbbiak rohamos fejlődése következtében (beleértve a rögzítés sebességét is) hosszabb időtartamú mérések adatrögzítése is könnyen lehetséges, akár analóg, akár digitális alakban. Ma már nem jelent problémát a Gbyte nagyságrendű számérték-halmaz tárolása akár merevlemezen, akár speciális mágnesszalag-kazettán.

A méréstechnikai gyakorlatban mind a mai napig megfigyelhető az a szemlélet, hogy a mérési jelet először lehetőleg analóg formában rögzítik mágnesszalagra, majd az analóg mérési jelet konvertálják digitális számértékekké. Ennek az az oka, hogy sokan az analóg jelrögzítést úgy tekintik, hogy ez az „eredeti” jelet képes rögzíteni, míg az analógról a digitális alakra történő konverzió információvesztéssel jár, ezért célszerű az „eredeti” alakú jelet rögzíteni elsőként. A bizonyos mértékű információvesztés kétségtelen, viszont ez elhanyagolható mértékűre csökkenthető, ha elegendő sűrűn történik a A/D konverzió során a mintavételezés. Az analóg mérőmagnetofon esetében viszont egyszerű nemcsak a jel újrajátszása, hanem bizonyos mértékű lassítása, vagy gyorsítása is, ami a digitális jelek esetében már megfelelő software eszközöket igényel. Másrészt a digitális jelek esetében nem jelent különösebb problémát a jelek megállítása és az álló mérési jel szemlélése, ami viszont az analóg berendezés esetében jelenthet problémát.

#### 1.3.4 A jelek szűrése

A mérési jelek általában többféle frekvenciájú jel-összetevőket tartalmaznak. Pl. egy hajtómű által leadott hajtó nyomaték egyrészt a jármű sebessége által megszabott, az időben többnyire lassan változó  $\mathbf{M}_h(\mathbf{t})$  összetevőből, másrészt a hajtásból, a nyomatékváltó kapcsolási műveleteiből, stb. eredő  $\mathbf{M}_{kap}(\mathbf{t})$  összetevőből áll. A mérés során az  $\mathbf{M}(\mathbf{t}) = \mathbf{M}_h(\mathbf{t}) + \mathbf{M}_{kap}(\mathbf{t})$  nyomatéknak megfelelő  $\mathbf{U}_M(\mathbf{t})$  mérési jelhez még hozzáadódhat a mérőberendezés működéséből eredő, többnyire magasabb frekvenciájú „zaj” is. Ezt a zajt a mérési jel feldolgozása során mindenképpen el kell távolítani.

A mérés célja vagy az  $\mathbf{M}_h(\mathbf{t})$  hajtó nyomaték-összetevő mérése, vagy az  $\mathbf{M}_{kap}(\mathbf{t})$  járulékos nyomaték-összetevő mérése. Az első esetben a mérési zajon kívül el kell távolítani a járulékos  $\mathbf{M}_{kap}(\mathbf{t})$  nyomaték-összetevőt is, a második esetben a mérési zajon kívül a lassan változó, alacsony frekvenciájú  $\mathbf{M}_h(\mathbf{t})$  összetevőt kell eltávolítani. Ezt a műveletet a mérési jel **szűrésének** nevezzük (1.34 ábra):



1.34 ábra

A szűrés során tehát az eredeti  $U_{be}(t)$  bemenő szűretlen feszültségből az  $U_{ki}(t)$  kimenő szűrt feszültség-idő függvényt állítjuk elő, és a szűrés mértékét e két függvény hányadosával, a szűrő **átviteli** (frekvencia-átviteli) függvényével jellemezzük. Mivel a számlálóban és a nevezőben az  $U_{be}(t)$  és az  $U_{ki}(t)$  függvények általában harmonikus függvényekből (színusz és koszinusz) tevődnek össze, ezért ezeket célszerű komplex függvényekként venni figyelembe, így a hányadosuk is komplex függvény lesz:

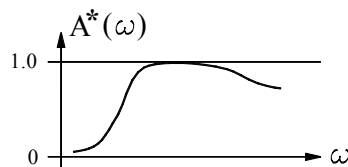
$$\bar{A}(j.\omega) = \frac{\bar{U}_{ki}(t)}{\bar{U}_{be}(t)}$$

Természetesen a szűrés végeredménye szempontjából az  $\bar{A}(j.\omega)$  átviteli függvény abszolút értékére van szükségünk:

$$|\bar{A}(j.\omega)| = A^*(\omega) = \frac{|\bar{U}_{ki}(t)|}{|\bar{U}_{be}(t)|};$$

ahol látható, hogy az  $A^*(\omega)$  már valós függvény.

A szűrés fogalma azt jelenti, hogy a jelből elveszünk (csökkentünk) bizonyos jelösszetevőket, ez az úgynevezett „passzív” szűrés. De létezik olyan szűrési eljárás is, amely során egyes jelösszetevők növekedhetnek is, ezek az „aktív” szűrők, ezek tehát már a műveleti erősítőkre emlékeztetnek. Az 1.35 ábra egy passzív szűrő átviteli jelleggörbáját szemlélteti:



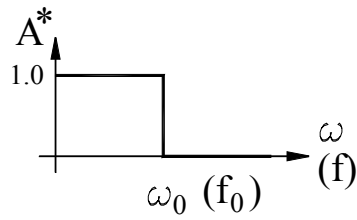
1.35 ábra

A mérési eredmények feldolgozásának gyakorlatában az előbb említett két esettel együtt három tipikus szűrési feladattal találkozunk: a „felülvágó” (= aluláteresztő), az alulvágó (= felüláteresztő) szűrés és a sávszűrés (= „lyuk”-szűrés). Ezek a következők:

a/ Aluláteresztő (felülvágó) szűrő:

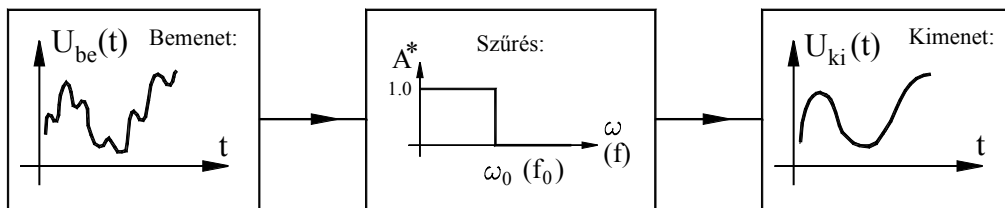
elméleti (ideális) átviteli jelleggörbe:

1.47



1.36 ábra

Ez a szűrő az  $\omega_0 (f_0)$  névleges határfrekvencia (határfrekvencia) alatt minden minden rezgésszámú összetevőt ideálisan átenged, felette mindent eltávolít. A szűrés menete tehát:

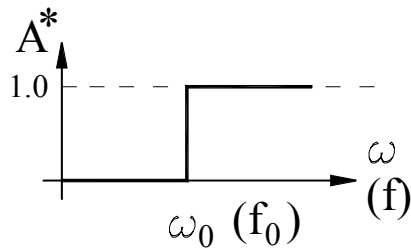


1.37 ábra

Ezt a szűrőt szokták használni, ha a mérési jelnek viszonylag magasabb frekvencájú, parazita zavaró jelösszetevői vannak, mert ez a szűrő ezeket kiszűrve „kiszimítja” a jelet.

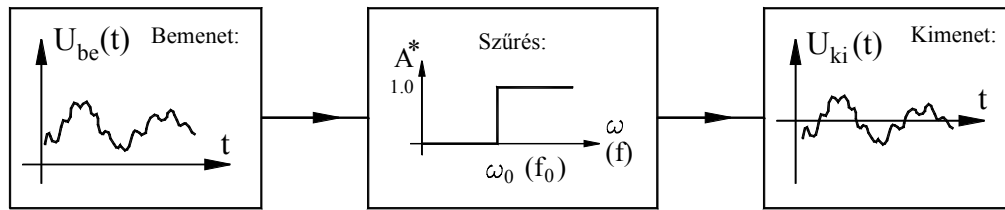
b/ Felüláteresztő (alulvágó) szűrő:

elméleti (ideális) frekvenciaátviteli függvény:



1.38 ábra

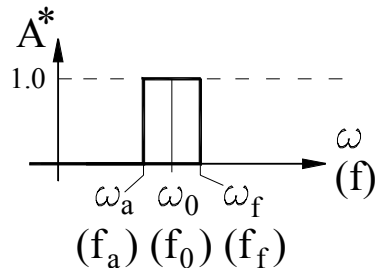
Ez a szűrő az  $\omega_0 (f_0)$  névleges határfrekvencia (határfrekvencia) felett minden minden rezgésszámú összetevőt ideálisan átenged, alatta mindent ideálisan eltávolít. A szűrés menete tehát:



1.39 ábra

Ezt a szűrőt legtöbbször arra használják, hogy kiszűrjék a jel állandó (zérus-frekvenciájú) összetevőjét, ekkor a jel ú. n. „nullközepű” lesz.

c/ Sávszűrő („lyukszűrő”): az elméleti ideális frekvenciaátviteli jelleggörbe:



1.40 ábra

Ennek a szűrőnek két határfrekvenciája van:  $\omega_a$  az alsó,  $\omega_f$  a felső határfrekvencia. A szűrő egyik jellemző adata a névleges körfrekvenciája:  $\omega_0 = (\omega_a + \omega_f)/2$ , a másik jellemző adata a sávszélesség:  $[\omega_a ; \omega_f]$ , amelyet általában a két határ hányadosával adnak meg. A kereskedelmi forgalomban kapható sávszűrők egyik fajtája az **oktáv-szűrő**, amelynél ez az arány 2,0:

$$\frac{\omega_f}{\omega_a} = 2,0$$

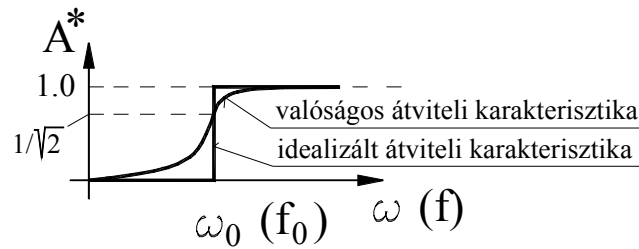
A sávszűrők másik fajtájánál az oktávot (vagyis a kétszeres frekvencia-arányt) három részre osztják, ezeket terc-szűrőknek hívják, itt a felső és az alsó frekvenciakorlát hányadosa:

$$\frac{\omega_f}{\omega_a} = \sqrt[3]{2} \cong 1,260 ;$$

tehát mind a terc-, mind az oktáv-szűrőknél a frekvenciasávok határai mértani sort alkotnak. Ezeket a sávszűrőket a gyárak úgy készítik, hogy egy megadott (viszonylag nagy, pl. 10 Hz – 40 kHz) frekvencia-intervallumot (elvileg) egyenletesen fedjenek le.

Eddig a szűrőknek csak az idealizált. elméleti frekvencia-átviteli jelleggörbéit említettük, amelyek az  $\omega_0$  határfrekvencián ugrásszerűen változnak meg. A valóságban természetesen ilyen ugrásszerű megváltozást nem lehet megvalósítani, a frekvencia-átviteli függvény egy véges körfrekvencia-intervallumban változik meg:





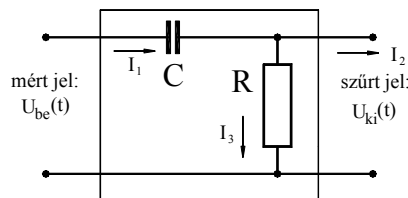
1.41 ábra

Ilyen esetekben az  $\omega_0$  határkörfrekvenciát azzal az  $\omega$  körfrekvenciával adják meg, amelynél az átviteli karakterisztika értéke  $1/\sqrt{2}$ .

Az átviteli függvény valóságos alakja elsősorban attól függ, hogy analóg, vagy digitális jeleket kell-e szűrni, másodsorban a szűrőt felépítő elemektől függ. Az alábbiakban röviden összefoglaljuk az analóg és a digitális jelek szűrésének módját, a szűrők felépítését és a legfontosabb elméleti alapokat. További részletek a hivatkozott szakirodalomban találhatóak meg.

### 1.3.4.1 Analóg jelek szűrése

Folytonos, analóg feszültségjeleket ohmikus ellenállásokból, kondenzátorokból és induktív elemekből álló áramkörökkel szűrhetünk (a szakirodalomban ezeket **LR** és **LRC** elemeknek is nevezik). Ezekből passzív szűrőt lehet összeállítani. Vizsgáljuk meg egy analóg felüláteresztő szűrőnek a lehető legegyszerűbb változatát, amely mindössze egyetlen **C** kondenzátorból és **R** ohmikus ellenállásból áll:



1.42 ábra

A levezetés kedvéért tételezzük fel, hogy mind az  $U_{be}(t)$ , mind az  $U_{ki}(t)$  jel különböző körfrekvenciájú és amplitudójú harmonikus függvények összegéből állnak, tehát célszerű ezeket – a villamosságban szokásos módon – komplex függvényekként kezelni:  $\bar{U}_{be}(t)$  és  $\bar{U}_{ki}(t)$

Az átviteli függvény meghatározásához az  $\bar{U}_{ki}(t)$  jelet  $\bar{U}_{be}(t)$  függvényében. Ezt a szokásos alakú **Kirchhoff** törvények segítségével tehetjük meg, de az **Ohm**-törvényt komplex alakban kell használni:

$$\bar{U}(t) = \bar{I}(t) \cdot \bar{Z}$$

ahol a  $\bar{Z}$  impedancia ohmos ellenállásra  $R$ , kondenzátorra  $\frac{1}{j.\omega.C}$  és induktív elemre  $j.\omega.L$ .

A Kirchhoff-huroktörvény értelmében az  $\bar{U}_{be}(t) - C - R$  körben a feszültségek összegét kell felírunk. A  $C$  és  $R$  tagok kapcsolódási pontján alkalmazzuk a szokásos közelítést, hogy az  $\bar{I}_2(t)$  áram elhanyagolható  $\bar{I}_1(t)$  -hez képest:

$$\bar{I}_2(t) \lll \bar{I}_1(t) .$$

(Szűrők kimenetés általában előírják, hogy a kapcsolódó berendezésnek legalább ekora bemeneti ellenállásúnak kell lennie, ez általában a  $\mathbf{M}\Omega$  sokszorosa.)

Ekkor:  $\bar{I}_3(t) \cong \bar{I}_1(t)$ .

és a feszültségek összege:

$$\bar{U}_{be}(t) = \bar{I}_1(t) \cdot \left[ \frac{1}{j.\omega.C} + R \right]$$

Innen az  $\bar{I}_1(t)$  áram:

$$\bar{I}_1(t) = \frac{\bar{U}_{be}(t)}{\frac{1}{j.\omega.C} + R}$$

A kimenő feszültség:

$$\bar{U}_{ki}(t) = \bar{I}_1(t) \cdot R = \frac{\bar{U}_{be}(t) \cdot R}{\frac{1}{j.\omega.C} + R}$$

A frekvencia-átviteli függvény:

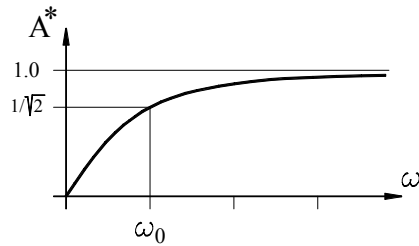
$$\bar{A}(j.\omega) = \frac{\bar{U}_{ki}(t)}{\bar{U}_{be}(t)} = \frac{R}{\frac{1}{j.\omega.C} + R}$$

Ennek az abszolút értékére van szükségünk:

$$|\bar{A}(j.\omega)| = A^*(\omega) = \left| \frac{R}{\frac{1}{j.\omega.C} + R} \right| = \left| \frac{R}{R - \frac{j}{\omega.C}} \right| = \left| \frac{R \cdot (R + \frac{j}{\omega.C})}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}} \right| =$$

$$= \frac{R}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}} \cdot \left| R + \frac{j}{\omega \cdot C} \right| = \frac{R \cdot \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}}}{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 \cdot C^2}}}$$

Ha  $\omega$  értéke minden határon túl csökken ( $\omega \rightarrow 0$ ),  $A^*(\omega)$  értéke is 0-hoz tart; ha pedig  $\omega$  értéke minden határon túl nő,  $A^*(\omega)$  értéke 1,0-hoz tart (1.43 ábra):



1.43 ábra

Az  $1/\sqrt{2}$  . átviteli értékhez tartozó  $\omega_0$  határkörfrekvencia értéke:

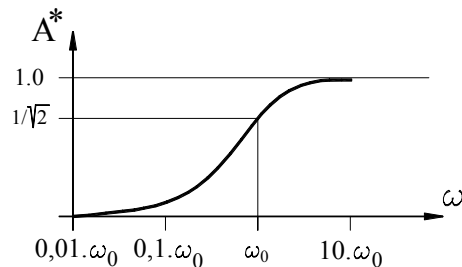
$$\frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C^2}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$2 \cdot R^2 = R^2 + \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C^2}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{R^2 \cdot C^2}$$

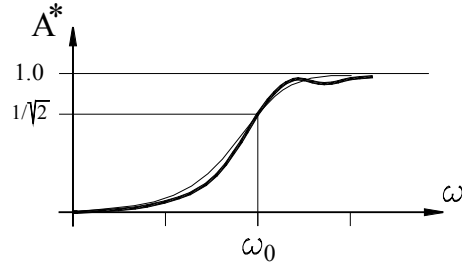
$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C}$$

A gyakorlatban elterjedt módszer, hogy logaritmikus léptéket alkalmaznak abból a célból, hogy főleg a kis frekvencia-értékeknél pontosabban szemléltessék a frekvencia-átviteli görbe menetét. Így például az előbb bemutatott jelleggörbe a következő alakú lesz, ha a frekvencia-tengely léptéke logaritmikus:



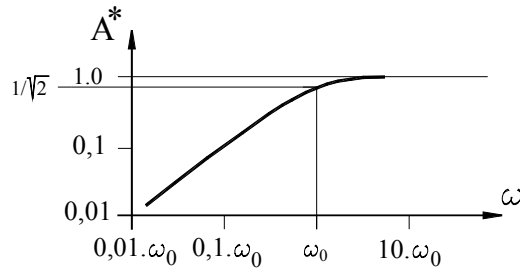
1.44 ábra

Természetesen a gyakorlatban megvalósított felüláteresztő szűrők jóval összetettebb felépítésűek, hogy az idealizált átviteli jelleggörbét jobban megközelítsék. Ugyanakkor előfordul, hogy az  $\omega_0$  környezetében meredekebben emelkedő görbére kismértékű járulékos, hullámszerűen változó görbe adódik hozzá:



1.45 ábra

Végül említést kell tennünk a **decibel-skáláról** és annak használatáról. A frekvencia-átviteli jelleggörbék ábrázolása során szokásos módszer, hogy az ordináta-tengelyt (az átviteli hányados értékét) is logaritmikus léptékű skálával ábrázolják.

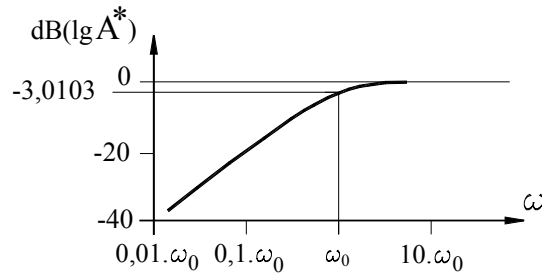


1.46 ábra

Az  $A^*$  átviteli hányados értékeit szokásos úgy is feltüntetni, hogy az **1,0** értékű alapszint-hez **0**-t rendelve, a többi érték logaritmusát, illetve annak 20-szorosát tüntetik fel. Így például  $A^* = 0,1$  érték esetén a decibel érték **-20** lesz:

$$\text{dB}(\lg A^*) = 20 \cdot \lg A^*$$

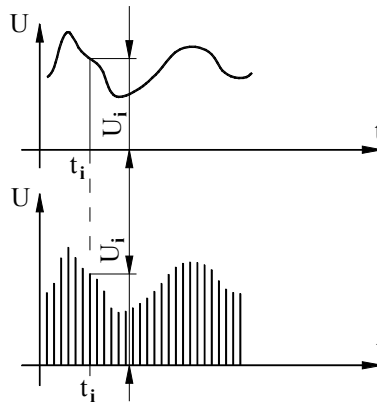
Ilyenmódon az 1.44 ábrán látható átviteli függvény skálázása az alábbi lesz:



1.47 ábra

### 1.3.4.2 Digitális jelek szűrése

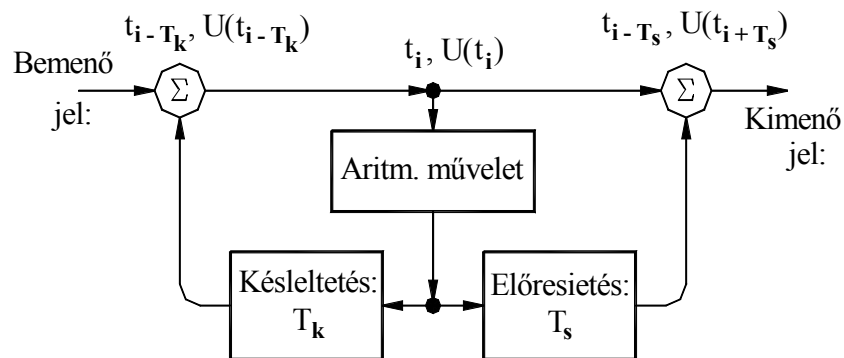
A digitális jelek diszkrét számértékek sorozatából állnak, amelyek vagy úgy keletkeznek, hogy a folytonosan változó fizikai jelet szintén folytonosan változó feszültségjel alakjában mérjük meg, majd ezt a rögzített jelet elegendő sűrű  $t_i$  időközönként ( $i = 1, N$ ) megmérjük, vagy a mérendő fizikai mennyiséget csak  $t_i$  időközönként mérjük meg. Ezeket úgy ábrázolhatjuk, hogy a folytonos görbe helyett csak a  $t_i$  időközönként meghatározott feszültségértékeket mutatjuk be (1.48 ábra):



1.48 ábra

A folytonos jelnek digitális számértékekévé történő átalakítás eredménye a  $[(t_i, U_i), i=1, N]$  számpárok halmaza, ezekkel csak aritmetikai műveletek végezhetők, így a jelsorozat szűrését is csak meghatározott aritmetikai műveletek segítségével lehet megoldani.

A gyakorlatban kialakult módszerek a szűrt jelet úgy határozzák meg, hogy végigfutva a diszkrét számértékek sorozatán, az aktuális  $t_i$  időponthoz tartozó  $U_i$  feszültségértéket (miután ezzel bizonyos aritmetikai műveleteket, pl.  $z$ -transzformáció, stb. végrehajtottak) hozzáadják a  $t_i$  időpontnál egy megfelelő  $T_k$  késleltetési idővel korábbi ( $t_i - T_k$ ) időponthoz tartozó  $U(t_i - T_k)$  jelértékhez, és/vagy egy  $T_s$  előresietési idővel későbbi  $U(t_i + T_s)$  jelhez (1.49 ábra):



1.49 ábra

A gyakorlatban megtervezett szűrőkapcsolások ennél sokkal összetettebbek, általában többféle késleltetési és előresietési időt alkalmaznak, különböző aritmetikai műveletekkel. A részletek ismertetése messzire vezetne, további részleteket [8] – ban és [9] – ben lehet találni.

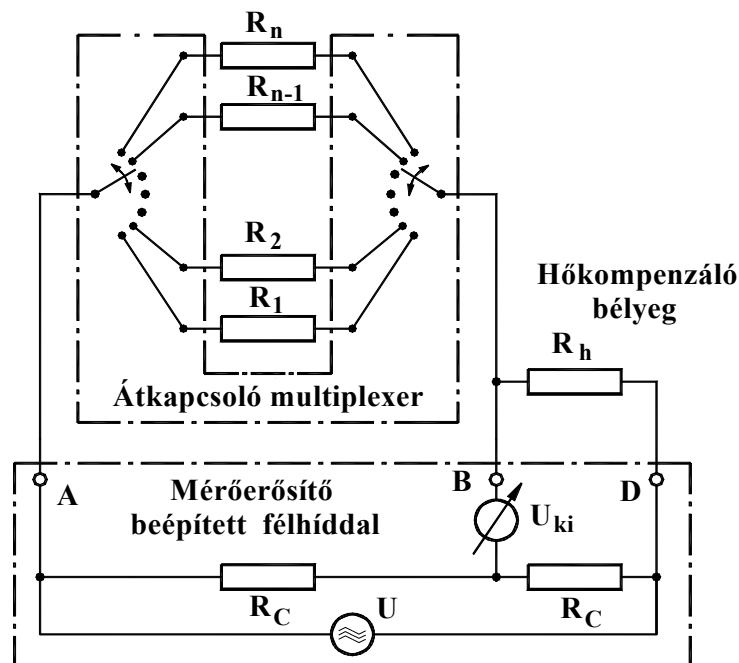
### 1.3.5 Mérési adatgyűjtő rendszerek

A mérési feladatok jelentős részében nem egyetlen érzékelő által szolgáltatott mérési jel feldolgozása és értékelése a feladat. Jellegzetes példa erre a szilárdsági mérések esete, ahol nem ritka a száznál is több nyúlásmérő bélyeg alkalmazása.

Más esetekben sok mérőhely mérési eredményeinek hosszú időn át végzett gyűjtése esetenként különleges problémákat vethet fel. Statikus, vagy csak lassan változó jelek esetén lehetőség van arra, hogy a jeleket szolgáltató csatornákra egymás után rákapcsolódva a jelekből csak meghatározott időközönként vegyünk mintát és csak ezeket regisztráljuk. Gyorsan változó jelek esetén ezt a mintavételi időközt erősen le kell csökkenteni, így egy jel esetén igen rövid idő marad a mintavételre, a regisztrálásra, stb. Ez a probléma addig volt nehezen leküzdhető, amíg a csatornák váltása (a „pollozás”) csak mechanikus berendezéssel volt végrehajtható; manapság a modern csatornaváltók elektronikusan váltják a csatornákat, így a mintavételi időközt erősen le lehet csökkenteni.

A szilárdsági mérésekre említett példát vázlatosan az 1.50 ábrán láthatunk:

Az ábra az 1.26 ábrának kibővített változata,  $n$  db nyúlásmérő bélyeggel végrehajtott szilárdsági mérés esetén. Amint azt a Mérőerősítők c. fejezetben bemutattuk, a mai mérőerősítők a Wheatstone-híd felét beépítve is tartalmazzák (a két db  $R_C$  elenállást), emellett építettek olyan mérőerősítő-típust is, amelynél lehetőség volt arra, hogy több, akár 100 db nyúlásmérő bélyeget is beköthessenek. Az ábrán feltüntetett  $n$  db nyúlásmérő bélyegnek közös az  $R_h$  hőkompenzáló bélyege.

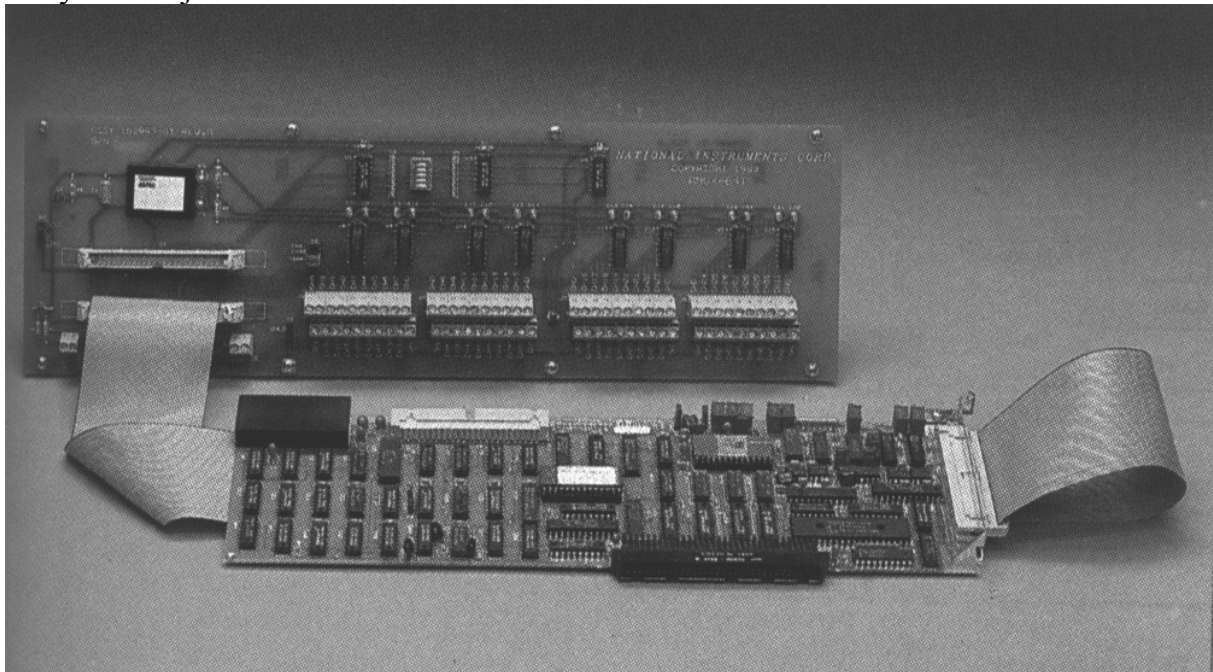


1.50 ábra

A mérőerősítő össze van építve egy átkapcsoló multiplexerrel, amely az  $n$  db mérőbéllyeg mindegyikét ciklikusan, egymás után rákapcsolja a mérőerősítőre, és az végrehajtja a mérést.

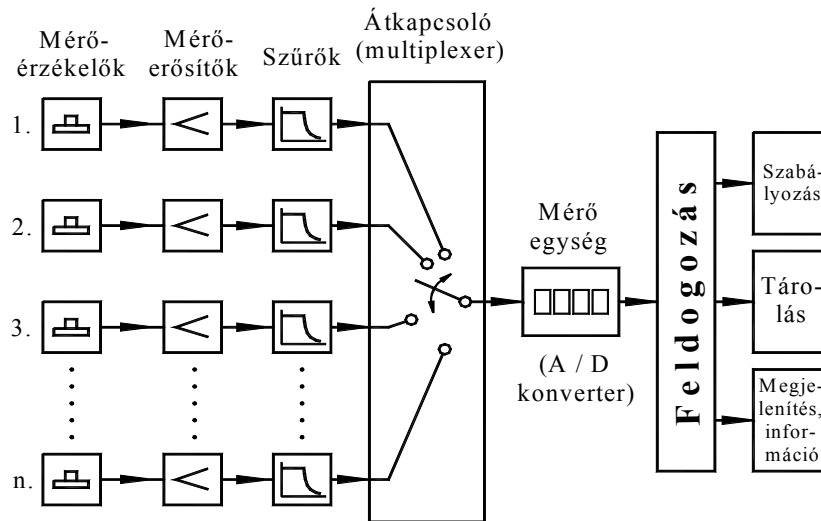
Az ábra nem tünteti fel a mért eredmények további útját, a tárolást, értékelést, stb. A mérés, vagyis az  $U_{ki}$  feszültség megmérése a mérőerősítőbe beépített félhíddal történik, amely az **A**, a **B** és a **D** pontokon át kapcsolódik az átkapcsoló multiplexerhez, tehát a nyúlásmérő bélyegek által alkotott félhíddhoz, az 1.26 ábrának megfelelően. A nyúlásmérő bélyegek váltásának átkapcsolási ciklusa (a „lekérdezési” ciklus) periódusidejének eléggé rövidnek kell lennie ahhoz, hogy az egyes bélyegek mérési jeléből a két, egymás utáni mintavételezés közötti idő alatt a mérési jelek ne változzanak alapvetően, meg tudják őrizni alapvető tulajdonságaikat, de a periódusidőnek eléggé hosszúnak is kell lennie ahhoz, hogy a mérőerősítő a mérést végrehajthassa, beleértve azokat a járulékos műveleteket is (pl. a minták tárolása, stb.), amelyek szükségesek a mérési adatok teljes feldolgozásához. Néhány évtizeddel ezelőtt a mechanikus szerkezetű *Hottinger UG 50/2* típusú átkapcsoló még 3 ~ 5 másodpercenként volt csak képes az átkapcsolást végrehajtani, a mai, PC-vel vezérelt mérőerősítők (pl. a Hottinger cég által gyártott *SPIDER 8*) már kHz nagyságrendű frekvenciával is képes a mérési adatgyűjtést végrehajtani.

Az analóg mérési jelek átkapcsolását végző multiplexert (méréspon-t-váltónak is nevezik) külön is gyártják, az 1.51 ábrán a *National Instruments (USA)* cég által gyártott *AMUX-64 T* típusú analóg multiplexert mutatja be, PC-k számára készített kártya formájában.



1.51 ábra

Az általános célú mérési-adatgyűjtő rendszerek vázlatát az 1.52 ábrán láthatjuk.



1.52 ábra

Az ábrán látható adatgyűjtő rendszer „n” darab, egymástól független mérőhelyet tartalmaz. A rendszer elemei mind az előzőekben bemutatott berendezések, mindegyik mérőhely és az átkapcsoló multiplexer között külön adatgyűjtő vonal van kiépítve. Egy-egy vonalban a mérőérzékelőkön, mérőerősítőkön, stb. kívül természetesen más berendezések is használhatók, illetve bizonyos elemek elhagyhatók. A multiplexer ciklikusan, bizonyos időre rákapcsolja az egyes mérőágakat az A/D konverteren át a feladattól függően a szabályozás, a tárolás, stb. feladatát végző egységre. Egyszerűbb adatgyűjtő berendezésre példa lehet egy dízelmozdony teljesítményszabályozása, ahol a szabályozásnak a mozdony terhelése, a dízelmotor töltése, a főgenerátor gerjesztése, stb. között kell egyensúlyt tartania, tehát e mennyiségek érzékelőit, stb. kell ciklikusan a szabályozó központi egységére kapcsolni. Bonyolultabb adatgyűjtő rendszerre példa lehet akár egy teljes erőmű szabályozása.

A bemutatott vázlat alapján felépített adatgyűjtő rendszereknek fontos tulajdonsága, hogy noha az érzékelők általában analóg mérési jeleket szolgáltatnak, a multiplexer és az A/D konverter után már csak diszkrét számértékek állnak rendelkezésre a folytonos mérési jelekből. Ez meghatározza a multiplexertől és a konvertertől megkívánt működési sebességet, hogy az A/D konverzió következtében csak meghatározott időpontokhoz tartozó diszkrét számértékek sora elegendő pontossággal képviselje az eredeti, folytonos mérési jelet.