

A photograph showing a technician in a blue uniform and cap working on a car's engine. The technician is leaning over the engine, which is illuminated by a work light. In the background, there is a computer monitor displaying a blue-tinted image, and a piece of diagnostic equipment with various dials and buttons. The scene is set in a dark environment, likely a garage or workshop.

**AUTÓ-
ELEKTRONIKA**

**MÉRÉS-
TECHNIKA**

A közlekedési, hírközlési és vízügyi miniszter a 41/1985. (X. 5.) MT sz. rendelet 5. §-ának d) bekezdése alapján 263 120/1992. sz. alatt jóváhagyta, bevezetését és használatát az 1992/93. tanévtől engedélyezte

Lektor:

ERÉNYI TIBOR

Sorozatszerkesztő:

PUTANKÓ ANNA

1. Méréstechnikai alapfogalmak

1.1 A metrológia tárgya

A mérésekre vonatkozó ismeretek összességével foglalkozó tudomány a metrológia, amely alapvetően három részre osztható.

Első része a méréstechnika, amely a fizikai jellemzők számszerű értékét meghatározó módszerekkel és az ezekhez szükséges eszközök megismerésével foglalkozik.

Második része a műszertechnika, a mérések eszközeinek tervezéséhez és előállításához szükséges ismereteket tárgyalja.

Harmadik része a mérésügy, a mértekegységekkel, azok realizálásával és a mérőeszközök ellenőrzésével foglalkozik.

1.2. A mérések

A tárgyak, testek, folyamatok, fizikai jelenségek mérhető tulajdonságait, jellemzőit fizikai mennyiségeknek vagy röviden mennyiségeknek nevezzük. Meghatározásuk méréssel lehetséges.

Az ember életében már az ősidőkben is előfordult, hogy valamit meg kellett mérnie. Kezdetben a mérési feladatok a mindennapi élethez szorosan kapcsolódtak. Később, az emberiség fejlődése során az igények növekedtek, új fizikai mennyiségek jelentek meg, amelyeknek mérése is szükségessé vált. Az újabb fejlődés még újabb lehetőségeket adott és újabb igényeket támasztott. A gondosan elkészített mérőeszköz és jól megválasztott mérési eljárás lehetővé tette a rohamosan fejlődő technika által követelt egyre nagyobb pontosságú mérések elvégzését.

Az elektronika fejlődése, az integrált áramkörti technológia kis költségei bonyolult villamos berendezések, mikroprocesszor-vezérlésű készülékek széles körű elterjedését tette lehetővé. Gondoljunk csak az egyre többet tudó, egyre tökéletesebb háztartási gépeinkre vagy napjaink új gépjárműveire, amelyekben az elektronika vezérli az üzemananyag egyre tökéletesebb kihasználását, és az elektronika fokozza a biztonságot. A berendezések, készülékek, járművek karbantartása, javítása nem képzelhető el mérés technikai ismeretek nélkül.

Emlékezzünk a fizikában tanultakra: hogyan mérünk? A mérés során a mérni kívánt jellemzőt összehasonlítjuk egy ugyanolyan jellegű mennyiséggel. Ezt az általunk választott mennyiséget egységnek nevezzük. Méréskor azt vizsgáljuk, hogy az egység hányszor van meg a mérendő mennyiségben.

Mérésünk eredménye tehát egy szám – a mérőszám – és a mértékegység szorzata. Például testmagasságunkat megmérve az eredmény 172 cm. Ekkor a mérőszám 172, a választott mértékegység a centiméter (cm). Ha más egységet választunk, eredményünk számértéke is más lesz. Használjunk egységül az előbbi méréshez pl. az araszunkat. Ekkor az eredmény 8 arasz.

Ismert, sokszor tévesen értelmezett fogalom a dimenzió. Azokat a mennyiségeket, amelyeknek mértékegysége azonos lehet, tehát alapegységre visszavezetve megegyezik, azonos dimenziójú mennyiségeknek nevezzük.

Az előbbi példánknál maradvá magasságunk hosszúság dimenziójú és sokféle mértékegységgel jellemezhető.

1.3. Mértékegységek

Adott tehát a feladat: mértékrendszerrel kell választani. A mértékrendszer nem más, mint az összes vagy csak néhány mérési területet felölelő mértékegységek összessége.

Mértékrendszerrel kétféleképpen alkothattunk. Az egyik – látszólag egyszerűbb – módszer az, hogy minden mennyiségnek választunk egy egységet. Például a feszültség egysége legyen a volt, az áramé az amper, az ellenállásé pedig a kilohóm. Választásunk esetén azonban a mennyiségek közötti összefüggésekre az egységektől függő arányossági tényezők kerülnek. Példánk szerint $R = 0,001 U/I$.

Az így kitalált mértékrendszerrel nem elegendő az összefüggések tartalmát ismerni (ellenállítás = feszültség/áram), hanem az önkényesen felvett egységektől függő szorzótényezőket is tudni kell. Könnyen belátható, hogy ez a módszer nem alkalmazható a tudományos életben.

A mértékrendszer felépítésének másik módja, hogy csak a szükséges néhány alapegység mértékegységét rögzítjük, a többi fizikai mennyiség egységét ezekből határozzuk meg úgy, hogy a mennyiségek közötti összefüggések a legegyszerűbbek legyenek. Példánkban, ha a feszültség egysége a volt, az áramé az amper, akkor az $R = U/I$ összefüggésből adódóan az ellenállás egysége e kettő hányadosa, az ohm lesz.

Az önkényesen felvett egységek száma szigorúan kötött, hogy a mértékrendszerben ne ütközzünk ellentmondásokba. Miatán döntöttünk a mennyiségekről, akkor az azonos dimenziójú mértékegységek sokaságából ki kell választanunk valamelyiket. Az így önkényesen felvett egységek az *alapegységek*.

Jelenleg az egész világon elfogadott a nemzetközi mértékegység-rendszer, közismert nevén az SI (Système International d'Unités) rendszer, amelynek használatát Magyarország 1976-tól kötelező.

1.4. Az SI mértékrendszer alapegységei és alpmértéknei

Az SI-rendszer a következő alapegységekre, egységekre épül:

alapegység	neve	jele	SI-egység	neve	jele
hosszúság		l	méter	m	m
tömeg		m	kilogramm	kg	kg
idő		t	másodperc	s	s
elektromos áramerősség		I	amper	A	A
termodinamikai hőmérséklet		T	kelvin	K	K
fényerősség		I _r	kandela	cd	cd
anyagmennyiség		n	mól	mol	mol

A nemzetközi mértékegység-rendszer kiegészítőegységeket is tartalmaz. Ezek a következők:

alapegység	neve	jele	SI-egység	neve	jele
síkszög		α, β, γ stb.	radián	rad	rad
térszög		$\Omega(\omega)$	szteradian	sr	sr

Az ismertetett hét alapegységből és a kiegészítőegységekből származtatható valamennyi fizikai és kémiai mennyiség, az egység és a mennyiségek közötti összefüggések alapján. Az így kapott egységek a származtatott egységek.

Az alapegységek definíciói a következők:

Hosszúság: a méter annak az útnak a hossza, amelyet a fény vákuumban $1/299\,792\,458$ -ad másodperc alatt megtesz.

Tömeg: a kilogramm az a mennyiség, amelyet a Párizsban 1889-ben megtartott Első Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet a tömeg nemzetközi egységének elfogadott. Ez a Sèvres-ben, Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban őrzött platina-irídium henger tömege.

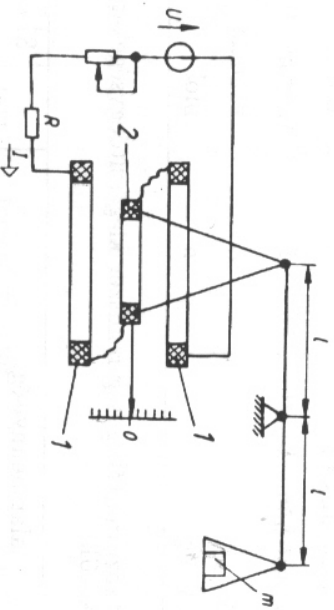
Idő: a másodperc az alapállapotú cézium-133-atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenetnek megfelelő sugárzás 9 192 631 770 periódusának időtartama.

Áramerősség: az amper olyan állandó elektromos áram erőssége, amely két párhuzamos, egyenes, végtelen hosszúságú, elhanyagolhatóan kicsi körkeresztmetszetű, egymástól 1 méter távolságban elhelyezett, vákuumban lévő vezető egy méteres szakaszai között $2 \cdot 10^{-7}$ newton erőt hoz létre.

Hőmérséklet: a kelvin a víz hármaspontja termodinamikai hőmérsékletének $1/273,16$ -szorososa.

Fényerősség: a kandela az $1/683 \text{ W/sr}$ sugárerősségtől $540 \cdot 10^{12} \text{ Hz}$ frekvenciájú monokromatikus sugárzó fényerőssége.

Anyagmennyiség: a mól annak a rendszernek az anyagmennyisége, amely annyi elemi egységet tartalmaz, mint ahány atom van $0,012 \text{ kg}$ tiszta szén-12-ben.



1. ábra. Árammérleg elve

Mérestechnikai szempontból gyakorlati munkánk során alapvetően fontos az alapegységek definícióján túl azok realizálhatósága. A definíció alapján megvalósított egységet alapegységek nevezünk. Az alapegységek tehát olyan különös gondalal készített, megfelelően őrzött, állandó és ismert hibájú minta, amely az alapegységet maradandóan megfestesíti, vagy képes ismételtén létrehozni azt.

A nemzetközi alapegységeket Franciaországban, Sèvres-ben, a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban őrzik.

A mérési alapegysége az 1799-ben készült X keresztmetszetű platina-irídium anyagú, 102 cm hosszú rúdon levő két karcolás közötti távolság. Ennek mérését 0°C hőmérsékleten, normál légköri nyomáson kell végezni úgy,

hogy a mérőlécet alátámasztják két, legalább 1 cm átmérőjű görgővel, amelyek a rúdhoz képest szimmetrikusan, vízszintes síkban, egymástól 571 mm távol helyezkednek el.

A tömeg alapegysége szintén platina-irídiumból készült 1889-ben. Ez egy 39 mm magas és közel ugyanilyen átmérőjű henger, amelynek felülete fényesre csiszolt, élei lekerekítettek. A tömeg az egyetlen, melynek alapegysége azonos az alapegységgel.

Az idő alapegysége az atomóra.

Az áramerősség alapegysége egy speciális berendezés, az árammérleg áramkörében – a mérleg kiegyenlített állapotában – mérhető áramerősség.

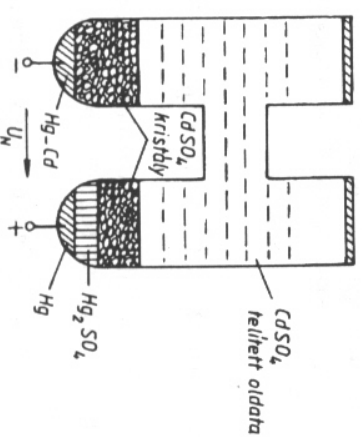
Az 1. ábrán látható árammérleg I jelű tekercsei rögzítettek, az egyenlő karú mérleg karjára függesztett 2 jelű mozgó tekercset az m tömeggel egyensúlyozzuk ki. A három tekercset úgy kapcsolják sorba, hogy a mozgó és a két rögzített tekercs között az átfolyó áram következtében keletkező erőhatás összegeződjék.

A mérleg kiegyensúlyozott állapotában az erő

$$F = mg.$$

Mivel a tekercseken átfolyó áram következtében fellépő erő $F = kI^2$, ahol k állandó, így

$$I = \sqrt{\frac{F}{k}}.$$



2. ábra. Weston-féle normálielem

A gyakorlati életben a villamos mennyiségek származtatásához feszültségetalont alkalmaznak, amelyet az árammérleggel beállított áram- és ellenállás-normália segítségével hitelesítenek.

Jelenleg időben a legnagyobb stabilitású a Weston-féle normálemem, melynek vázlata a 2. ábrán látható. Az elem üresjárású feszültsége hőmérsékletfüggő, $20\text{ }^\circ\text{C}$ -on $U = 1,01865\text{ V}$, hőmérsékletfüggése $-40\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Maximális terhelőárama $0,1\text{ mA}$, belső ellenállása $500 \dots 1000\ \Omega$.

A hőmérsékletnek nincs alapmértéke. A méréstechnikai gyakorlatban az ún. Nemzetközi Gyakorlati Hőmérsékletskálát használják. Ez hat hőmérsékleti alappontot rögzít, ami nagy biztonsággal ismételen előállítható, valamint előírja, hogy a hőmérsékleti alappontok közötti skálát interpolációs úton kell megállapítani.

A rögzített hat alappont a következő:

az oxigén forráspontja:	$-182,97\text{ }^\circ\text{C}$;
a víz hármáspontja:	$0,01\text{ }^\circ\text{C}$;
a víz forráspontja:	$100,00\text{ }^\circ\text{C}$;
a kén forráspontja:	$444,60\text{ }^\circ\text{C}$;
az ezüst dermedési pontja:	$960,80\text{ }^\circ\text{C}$;
az arany dermedési pontja:	$1063,00\text{ }^\circ\text{C}$.

A termodinamikai hőmérsékleti skála kezdőpontja az abszolút nulla fok. Az SI mértékegységrendszer megengedi, hogy a gyakorlati életben a Celsius-skálát használjuk. Az abszolút skála és a Celsius-skála közti összefüggés:

$$t = T - 273,15,$$

ahol t a hőmérséklet $^\circ\text{C}$ -ban, T a hőmérséklet K-ben.

A fényerősség alapmértékét a hat ipari nagyhatalom (USA, Németország, Franciaország, Japán, Nagy-Britannia, és Oroszország) nemzeti laboratóriumokban készült etalonokkal mérhető fényerősség-értékek átlagaként határozták meg.

1.5. A mérőeszközök mérésügyi felosztása

A mérőeszközökkel végezhető feladatok megvalósításának a mérőeszköz pontossága szab határt. Ezért szabvány rögzíti a mérőeszközök csoportosítását, egymás alá rendeltségét.

Az etalon egy mérhető mennyiség mértékegységének megőrzésére, reprodukálására való mérőeszköz, amelynek feladata a mértékegység más mérőeszközökre való továbbszármaztatása.

Elsődleges etalonok az alapmértékek és az országos etalonok. Ezeket a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatalban, ill. az országok erre kijelölt hivatalában őrzik. Az elsődleges etalonokat kizárólag másodlagos etalonok leszármaztatására használják.

A *másodlagos etalonok* az elsődleges etalonokról származtatott etalonok. Közülük a *használati etalon* a mértékegység nagy pontosságú mérőeszközökre való átszármaztatására, az *ellenőrző etalon* pedig kisebb pontosságú etalonok ellenőrzésére szolgál.

Az *alappmérőeszköz* olyan gondosan elkészített mérőeszköz, amelynek hibája ismert. Más mérőeszközök származtatására és ellenőrzésére szolgál.

A *felülvizsgáló mérőeszközzel* az ellenőrző és használati mérőeszközöket ellenőrzik.

Az *ellenőrző mérőeszköz* a kutatásban, termelésben, a mindennapi életben használt *használati mérőeszközök* vizsgálatára való.

1.6. A mérésügyi irányítási

A mérésügy irányítását és felügyeletét a Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal (Bureau International des Poids et Mesures, rövidítve BIPM) végzi. Hazánkban ezt a feladatot az Országos Mérésügyi Hivatal, az OMH látja el.

Itt őrzik a nemzetközi alapmértékek másolatát (pl. a levéltári méterrúd vagy a tömeg egységét jelentő platina-irídium henger sorszámozott másolatát), de a hivatal feladatköre ennél összetettebb.

Az OMH gondoskodik a törvényes mértékegységek országos etalonjairól, a mérésügyi kutatásokról és fejlesztésekről, meghatározza a mérőeszközök mérésügyi követelményeit, előírja a kötelező hitelesítési mérőeszközök kört, meghatározza a hitelesítés általános feltételeit és módszereit, valamint minősítő- és szakvéleményt ad. A hivatal képviseli hazánkat a nemzetközi mérésügyi szervezetekben is.

2. Mérési hiba

2.1. A mérési hiba fogalma, fajtái

A mérés célja a mérendő fizikai mennyiség valódi értékének meghatározása. Mérési eszközeink pontatlansága, a választott mérési módszer tökéletlensége, valamint a mérést egyébként befolyásoló tényezők miatt azonban a mért érték nem egyezik meg a valódi értékkel, mérési hiba keletkezik. A H mérési hibája az X_m mért érték és az X_h helyes érték különbsége:

$$H = X_m - X_h.$$

Az így megadott mérési hiba az abszolút hiba, amely előjeles mennyiség és mértékegysége megegyezik a mérendő mennyiségével.

Ha az abszolút hibát elosztjuk a mért mennyiség helyes értékével, akkor a mérés relatív hibáját kapjuk:

$$h_i = \frac{H}{X_h}.$$

A relatív hibát százalékos formában is megadhatjuk:

$$h_i = \frac{H}{X_h} \cdot 100 \text{ \%}.$$

A mérés hibái jellegük szerint durva, rendszeres és véletlen hibák lehetnek.

2.2. Durva hiba

A durva hiba általában a mérést végző személy hibája, tévedése vagy erős környezeti hatások következtében fellépő hiba. Ez a mért értéket jelentősen meghamisítja.

Rendszerint közvetlenül a mérés során vagy a kiértékeléskor minden kétséget kizáróan megállapítható az eredmény feltűnően megváltozott értéke, így a hibaforrás felfedezhető, a durva hiba megszüntethető. Ugyan pl. a többskálájú műszeren nem a mérésnévnek megfelelő skáláról történő rossz

leolvasás, vagy vízszintes használati helyzetű műszerrel függőleges állásban végzett mérés.

A durva hibát a gyakorlatban elkövetni tilos, azonnal fel kell ismerni és forrását meg kell szüntetni.

2.3. Rendszeres hiba

Azokat a hibákat, amelyeknek nagysága és előjele meghatározható, rendszeres (szisztematikus) hibáknak nevezzük. A rendszeres hibákra jellemző, hogy változatlan feltételek között előjelük és nagyságuk állandó, a körülmények megváltozása esetén pedig ismert törvényszerűségek szerint változnak.

Mivel ismerjük a rendszeres hiba előjelét és nagyságát, ezzel a mérési eredményeinket korrigálhatjuk. A negatív előjellel vett hiba a korrekció. Ha a mérésünk rendszeres hibáját H_i -vel jelöljük (a rendszeres hibát általában abszolút hibaként adják meg és nagybetűvel jelöljük), akkor a K korrekció:

$$K = -H_i.$$

Így tehát a a mérni kívánt valódi értéket legjobban megközelítő helyes érték

$$X_h = X_m - H_i = X_m + K = X_{\text{korr}}.$$

Az így kapott eredmény a rendszeres hibától mentes.

Rendszeres hiba adódhat mérőműszereink, a mérési módszerek korrigálatlan hibáiból valamint a külső körülményekből.

A rendszeres hiba felismerése nagy körültekintést, tapasztalatot, szakértelmet igényel. Meghatározása után eredményeinket javítani kell, enélkül mérésünk torzítottá válik.

2.4. Véletlen hiba

Azokat a hibákat, amelyeknek nagysága és előjele változik és nem határozható meg, véletlen hibáknak nevezzük. Természetesen a hibákat létrehozó hatásoknak is vannak konkrét okai, azonban nem határozható meg, vagy meghatározásuk fáradságos és költéses lenne. Mivel e hibák okait nem ismerjük, fellépésük véletlen, ezért hívjuk véletlen hibáknak, vagy más néven bizonytalanságnak.

A véletlen hibát a rendszeres hibától mentes, helyes érték környezetében felvett intervallummal lehet megadni. Ebben az intervallumban előírt,

meghatározott valószínűséggel benne van a rendszeres hibától mentes, helyes érték. Ezt az intervallumot megbízhatósági intervallumnak nevezzük és felszélését ϵ -nal jelöljük. Így mérésünk eredménye:

$$X_h = X_m + K \pm \epsilon = X_{\text{KORR}} \pm \epsilon$$

ϵ a véletlen hiba nagyságára jellemző. Relatív értéket úgy kapjuk meg, hogy ϵ -t elosztjuk a mérendő mennyiség helyes értékével:

$$h = \frac{\epsilon}{X_h},$$

ill. ennek százalékos értéke:

$$h = \frac{\epsilon}{X_h} \cdot 100 \%$$

A bizonytalanság meghatározása mérési sorozat elvégzésével lehetséges. Mérési sorozaton azt értjük, hogy ugyanazt a mérendő mennyiséget ugyanazal a berendezéssel, változatlan külső körülmények között többször egymás után megmérjük. A kapott eredmények a véletlen hibák miatt ingadozást mutatnak. A mérési sorozat tagjaiból meghatározható az az érték, amely legközelebb áll a mérendő mennyiség valódi értékéhez. Ez a sorozat számtani átlaga.

A mérési sorozat álljon n számú mérésből.

A mért értékek: $x_1, x_2, x_3, x_4 \dots x_n$.

A sorozat számtani átlaga:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

A mért értékek legnagyobb eltérése az átlagtól Δx , így a h relatív bizonytalanság:

$$h = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$$

A mérési sorozat átlaga nem ad információt arról, hogy a mért adatok elérése az átlagtól milyen mértékű, azaz milyen a mért adatok szóródása. Ennek megadása többféleképpen lehetséges. Leggyakrabban az átlagos abszolút eltérést vagy a szórást adják meg.

Az átlagos abszolút eltérés egy szűkebb intervallumot határol be az \bar{x} átlagérték körül, de az intervallumon belül elhelyezkedő mérési adatokat számszerűen nem jellemzi.

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|,$$

ahol i az i -edik mérést, n pedig a mérések számát jelenti.

A mérési eredményeket leggyakrabban a szórással adják meg. A szórás az átlagtól való eltérés négyzetével számol, így értékében a kisebb eltérések kevésbé, a nagyobbak jobban fontosak.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Gyakran az s kifejezésének négyzetével dolgozunk, és azt szórásnégyzetnek nevezzük.

A helyes értéket a szórás felhasználásával a következőképpen adhatjuk meg:

$$x_h = \bar{x} \pm ts,$$

ahol t egész szám. A ts szorzat nem más, mint a korábban ϵ -nal jelölt intervallum szélessége, de ezt a mért értékekből számítottuk.

Ebben az összefüggésben t értéke egy valószínűségi intervallumot határoz meg.

Normális eloszlás esetén

$t=1$ -nél az esetek 68,3 %-a,

$t=2$ -nél az esetek 95,5 %-a,

$t=3$ -nál az esetek 99,7 %-a

esik az intervallumon belülre.

Ugyanazokon a mennyiségeken végzett, egymástól független mérések számtani közepéhez tartozó szórás, azaz a mérési sorozatok átlagának szórása

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

módon határozható meg.

2.5. A számított eredmények hibái

Az ismeretlen mennyiséget nem áll módunkban mindenkor közvetlenül megmérni, hanem más mennyiségekből számítjuk. Ilyenkor is fontos, hogy a keresztelt mennyiséget milyen hibával tudjuk meghatározni.

Hibaszámításunk alapvetően kétféle lehet:

A *lineáris összegzés* módszere a legnagyobb hibát adja eredményül. Ekkor az egyes hibátényezők előjelükre való tekintet nélkül, megfelelő szabályok szerint összegződnek. Ezt az eljárást „pesszimizta” hibaszámításnak is nevezik.

Négyzetes összegéskor eredményként a valószínű véletlen hibát kapjuk. Ilyenkor az egyes hibahatványozók négyzetösszegéből vont négyzetgyökök kiszámításával nyerjük az eredményt.

Tételezzük fel, hogy a

$$z = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$$

többváltozós függvénykapcsolat írja le a keresett mennyiségünket. Méréssel az $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ értéket tudjuk meghatározni, valamint ismerjük relatív hibájukat.

A z hibáját az ismertettek szerint számíthatjuk:

$$h_z = |k_1 h_{x_1}| + |k_2 h_{x_2}| + |k_3 h_{x_3}| + \dots + |k_n h_{x_n}|,$$

ill.

$$h_z = \sqrt{(k_1 h_{x_1})^2 + (k_2 h_{x_2})^2 + (k_3 h_{x_3})^2 + \dots + (k_n h_{x_n})^2},$$

ahol $k_1, k_2, k_3, \dots k_n$ az ún. súlyfaktorkok, szorozótényezőik. Értékeit az határozza meg, hogy a hozzájuk tartozó tényező milyen mértékben vesz részt az eredmény képzésében.

Vizsgáljuk meg egy kétváltozós függvény hibaszámítását. Az egyszerűség kedvéért csak a lineáris hibösszegzést ismertetjük, de az eljárás érvényes négyzetes összegzés esetére is.

Méréssel meghatároztuk x és y értékeit, valamint ismerjük ezek relatív hibáját, h_x és h_y értékeit.

$$\text{Tudjuk, hogy } h_x = \frac{\Delta x}{x} \quad \text{és} \quad h_y = \frac{\Delta y}{y},$$

$$\text{azaz} \quad \Delta x = x h_x \quad \text{és} \quad \Delta y = y h_y.$$

Itt Δx , ill. Δy felel meg az elméletben említett ϵ -nyi sávnak. Legyen elsőként a függvény $z = x \pm y$.

$$\begin{aligned} \text{Akkor } h_z = \frac{\Delta z}{z} &= \frac{|\Delta x| + |\Delta y|}{x \pm y} = \frac{|x h_x| + |y h_y|}{x \pm y} = \\ &= \left| \frac{x}{x \pm y} h_x + \frac{y}{x \pm y} h_y \right| = |k_x h_x| + |k_y h_y|. \end{aligned}$$

$$\text{Látható tehát, hogy } k_x = \frac{x}{x \pm y} \quad \text{és} \quad k_y = \frac{y}{x \pm y}.$$

Második függvényünk legyen $z = x y$.

$$\text{Ekkor } h_z = \frac{\Delta z}{z} = \frac{|x \Delta y| + |y \Delta x|}{x y} = \left| \frac{x}{x y} \Delta y \right| + \left| \frac{y}{x y} \Delta x \right| =$$

$$= \left| \frac{\Delta x}{x} \right| + \left| \frac{\Delta y}{y} \right| = h_x + h_y,$$

tehát $k_x = 1$ és $k_y = 1$.

Ugyanezt az eredményt kapjuk a $z = x/y$ függvény esetén is.

Általánosságban a hibát a vizsgált függvény *parciális deriválásával* (minden benne szereplő független változó szerinti deriválással, aminek jele $\frac{dz}{dx_1}, \frac{dz}{dx_2}$ stb.) számíthatjuk ki.

$$\Delta z = \left| \frac{dz}{dx_1} \Delta x_1 \right| + \left| \frac{dz}{dx_2} \Delta x_2 \right| + \dots + \left| \frac{dz}{dx_n} \Delta x_n \right|,$$

ill.

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{dz}{dx_1} \Delta x_1 \right)^2 + \left(\frac{dz}{dx_2} \Delta x_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{dz}{dx_n} \Delta x_n \right)^2}$$

$$\text{és } h_z = \frac{\Delta z}{z}.$$

A számított eredmények véletlen hibájának meghatározásához a matematikai valószínűség-számítás csak a négyzetes összegzés módszerét támogatja alá. Többváltozós függvényeknél ennek kiszámítása nehézkes, s a biztonság javára tévedünk (nagyobb értéket kapunk eredményül), ha a kényelmesebb lineáris összegzéssel számolunk.

2.6. Mérési eredmények megadása

Az előzőekben elmondottakból kitűnik, hogy a rendszeres hibák a mérést torzították, a véletlen hibák pedig bizonytalanáná teszik. A jól elvégzett mérést az jellemzi, hogy a rendszeres hibákat meghatározzuk, és eredményünket módosítjuk. Így a mérés végeredményében csak a véletlen hibák miatti bizonytalanság szerepel.

Például, ha feszültséget mérünk,

$$\text{a mért érték} \quad U_m = 220 \text{ V,}$$

$$\text{a rendszeres hiba} \quad H = 5 \text{ V,}$$

$$\text{a véletlen hiba} \quad h = 1 \text{ \%}.$$

A mérés végeredménye $U = U_m - H \pm h = 220 - 5 \text{ V} \pm 1 \text{ \%}$,

azaz $U = 215 \text{ V} \pm 1 \%$.

A végeredmény megadása, és a korrekció előtt össze kell hasonlítani a rendszeres és a véletlen hiba nagyságát. Előfordulhat, hogy a véletlen hiba mellett a rendszeres hiba elenyészően kicsi. Ilyenkor nincs szükség korrekcióra. Mérési módszereinkkel, kapcsolásainkkal mindig arra törekszünk, hogy megoldásunkban a rendszeres hiba a legkisebb, lehetőleg elhanyagolható legyen a mérés bizonytalanságához képest.

Az előbbi példánkat kissé módosítva legyen a rendszeres hiba $H = 0,4 \text{ V}$. Így a mérés végeredménye:

$$U = 220 \text{ V} \pm 1\%.$$

Körültekintően kell eljárni akkor is, ha az eredmény a mérést követő, a mért értékeket felhasználó számítások során alakult ki. Egy adott pontosságú mérést követően az eredmény nem lehet pontosabb, mint a mérés maga, holott azt a számítások lehetővé tennék. Például, ha ellenállást mérünk és a mért értékek:

$$U_m = 28,4 \text{ V}, \\ I_m = 3,52 \text{ A}, \\ h = 5 \%$$

A számított ellenállás $R = \frac{U_m}{I_m} = \frac{28,4}{3,52} = 8,068181 \Omega$.

Feladatunkban az ellenállásmérés bizonytalansága $\pm 5 \%$, ez hozzávetőleg $0,4 \Omega$, így a mérés végeredménye:

$$R = 8 \Omega \pm 5\%$$

mert a számításakor kapott $0,068181$ sokkal kisebb a mérés hibájánál.

Ha a mérés hibája $h = 1 \%$, akkor a végeredmény $R = 8,1 \Omega \pm 1 \%$.

2.7. A mérések dokumentálása, értékelése

A mérési eredményeket mérési jegyzőkönyvben dokumentáljuk.

A jegyzőkönyv készítésére általános érvényű formai vagy tartalmi előírás nincs. A mérési eredmények értékeléséhez, ill. későbbi feldolgozásához azonban fontos dokumentumnak néhány alapvető adatot tartalmaznia kell:

- a mérés helyét, idejét;
- a mérést végző cég, laboratórium és személyek nevét;
- a mérési összeállítás ismertetését;
- a felhasznált műszereket, eszközöket és berendezéseket, valamint azok fontos jellemzőit, (pontosság, mérés határ, skálaterjedelem, belső ellenállás,

stb.);

- a mért értékeket;
- ha a jegyzőkönyv a mérés elsődleges értékelését is tartalmazza, akkor az ehhez használt módszereket és összefüggéseket.

Az eredmények grafikus ábrázolása igen hasznos a mérések értékelése során. Jelentősége nem csökkent azzal sem, hogy napjainkban az értékelést jórészt számítógéppel végzik.

Ahhoz hogy a grafikus ábrázolás lehetőségét jól hasznosítsuk, egyszerű szabályokat be kell tartanunk:

- helyesen kell megválasztanunk a koordináta-rendszert (amely lehet derékszögű vagy polár) és annak beosztását (amely lehet lineáris, logaritmikus, reciprok, négyzetes stb.);
- a beosztás legyen alkalmas a görbéről pontok leolvásására (könnyen lehesen interpolálni);
- a legkisebb osztásköz semmi esetben sem lehet a mérés bizonytalanságánál kisebb;
- a mérés során kapott pontokat az ábrán jelölni kell oly módon, hogy azok a pontok összekötése után is láthatók legyenek. A pontokat jelölhetjük pl. keresztrel (+), ponttal (•), karikával (o) és ezek különböző színű variációival;
- ha a görbe várhatóan egyenes, akkor úgy válasszuk meg a léptéket, hogy annak meredeksége közel egységnyi legyen;
- a mérési pontokat a hozzájuk illeszkedő görbe mentén folytonos vonallal célszerű összekötni. (A pontokhoz legjobban illeszkedő görbe meghatározása nem mindig könnyű feladat. Ennek módszerét magasabb szintű matematika tárgyalja.) A folytonos vonallal való összekötés alól kivétel a műszerek hitelesítése, ill. hibavizsgálata során felvett görbe. Ezeknél a pontok helyzete nem vezethető vissza semmilyen folytonos elméleti függvényre, így azokat egyenesekkel kötik össze.
- A mérési pontok alapján akkor a legegyszerűbb a görbét megrajzolni, ha az egyenes. Ilyenkor a legegyszerűbb a mérési eredményt összevetni az elméleti görbealakkal, ill. a legkönnyebb az interpoláció és az extrapoláció. Ezen előnyök miatt érdemes arra törekednünk, hogy a kapott görbealakot linearizáljuk, vagyis a koordináta-rendszert úgy osztjuk be, hogy az elméletileg várható görbe a felvett rendszerben egyenes legyen. Például, az $y = A/x$ alakú hiperbolát az $y = Au$ függvényre linearizáljuk, ahol $u = 1/x$ vagy az $y = Bx^n$ függvényből logaritmálással a $\log y = \log B + n \log x$ adódik, és ha $v = \log y$, $u = \log x$ és $K = \log B$ állandó, akkor a $v = nu + K$ lineáris összefüggést kapjuk.

3. A villamos mérőműszerek

Villamos mennyiséget mérő műszert villamos mérőműszernek nevezünk.

Ismerkedjünk meg azokkal a fogalmakkal, amelyek a mérőműszereket jellemzik. Ezek jórésze érvényes a nem villamos mennyiségek mérőműszereire is.

3.1. Méréshatár

A *méréshatár* a mérendő mennyiségnek azon értéke, amelyet a műszer az adott pontossági előírásoknak megfelelően mérni tud.

A *felső méréshatár* a műszerral megadott pontossággal mérhető legnagyobb, az *alsó méréshatár* a megadott pontossággal mérhető legkisebb érték.

A felső méréshatár általában a legnagyobb mutatókitéréshez, ill. a legnagyobb kijelezhető számhoz tartozó mennyiség. Előfordul azonban olyan műszer, melynél a legnagyobb kijelzett mennyiség nem egyezik meg a felső méréshatárral. Ezt a műszer skáláján vagy a műszerkönyvében feltüntetik.

Az alsó méréshatár legtöbbször a skála kezdőpontjával azonos, ha attól el tér, azt is jelöljük.

Az alsó és felső méréshatár közötti intervallum a *mérési tartomány*.

A műszerek méréshatárát, ill. mérési tartományát a műszeren feltüntetjük. A műszerek készülhetnek egy vagy több méréshatárral.

3.2. Érzékenység

A műszer érzékenysége a mérendő mennyiség egységnyi változásához tartozó kitérésváltozással egyenlő:

$$E = \frac{\text{mutatókitérés}}{\text{mérendő mennyiség}}$$

Az érzékenység dimenziós mennyiség, pl. feszültségmérő esetén $[E] = \text{fok/V}$.

Lineáris skálájú műszerek érzékenysége a skála mentén állandó, nemlineáris skála esetén az érzékenység változik. Ilyenkor csak az adott munkapont környezetében érvényes, ún. differenciális érzékenységről beszélhetünk.

3.3. Műszerállandó

A műszerállandó a mérendő mennyiségnek azon értéke, amelynek hatására a műszer mutatója egységnyire kitér, tehát nem más, mint az érzékenység reciproka.

$$c = \frac{\text{mérendő mennyiség}}{\text{mutatókitérés}}$$

A műszerállandót legtöbbször a méréshatár és a teljes skálaosztás segítségével határozzák meg:

$$c = \frac{x_{\text{méréshatár}}}{Q_{\text{végekitérés}}}$$

A műszerállandónak is, mint az érzékenységnek, mértékegysége van.

Méréskor a műszerállandóval szorozzuk a mutató fokokban leolvasott kitérését, így kapjuk a mérendő mennyiség nagyságát:

$$x = ca$$

3.4. Fogyasztás

A műszer kitéréséhez szükséges teljesítményt, amelyet a mérőkörből vesz fel, fogyasztásnak nevezünk.

Egyenáramú árammérő fogyasztását

$$I^2 R_b,$$

feszültségmérő fogyasztását

$$U^2 R_b$$

alakban fejezhetjük ki, ahol I és U a mérendő áram, ill. feszültség, R_b pedig a műszer belső ellenállása. Változó áramú műszerek fogyasztása a látszólagos teljesítmény.

A fogyasztásra jellemző tehát a műszer belső ellenállása. Ezt megbízhatóan csak voltmérőkre, ill. csak feszültségtekercsekre, az egységnyi feszültségre jutó ellenállás formájában, az ún. ohm/volt (Ω/V) hányadosként adják

meg. Az adott érték a mérésárra vonatkozik. A műszer belső ellenállását úgy számíthatjuk, hogy az Ω/V értéket megszorozzuk az adott mérésárral.

3.5. Pontosság

A műszereket relatív hibájuk alapján a szabvány pontossági osztályokba sorolja.

A műszer pontossági osztálya a konvencionális értékre vonatkoztatott, a skála mentén elforduló legnagyobb abszolút hiba százalékos értékét jelenti:

$$h_{po} = \frac{|X_m - X_h|}{X_{konvencionális}} 100\%.$$

A műszerek döntő többségénél a konvencionális érték a felső mérésárral egyezik meg, de természetesen találunk olyat, amelynél nem. Ez utóbbira példa egy középpállású miliampermérő, amelynek mérési tartománya $-5 \text{ mA} \dots +5 \text{ mA}$, konvencionális értéke pedig 10 mA .

A szabvány nyolc pontossági osztályt különböztet meg, s ezek alapján a műszereket minősíti is. Az osztálypontosságot és a hozzá tartozó hibaértékeket, ill. a minősítést az 1. táblázat tartalmazza.

Villamos mérőműszerek osztályozása

1. táblázat

Osztályjel	Hibahatárok, %	A műszer jellege
0,05	$\pm 0,05$	Laboratóriumi műszer
0,1	$\pm 0,1$	Laboratóriumi műszer
0,2	$\pm 0,2$	Laboratóriumi műszer
0,5	$\pm 0,5$	Laboratóriumi és üzemi műszer
1	± 1	Üzemi műszer
1,5	$\pm 1,5$	Üzemi műszer
2,5	$\pm 2,5$	Üzemi műszer
5	± 5	Üzemi műszer

3.6. Referenciafeltételek

A referenciafeltételek azok a mérési körülmények, amelyek mellett a pontossági osztály érvényes.

Ha a műszert a referenciafeltételektől eltérő körülmények között használjuk, akkor az alaphibához járulékos hiba is adódik. A járulékos hibára vonatkozóan is intézkedik a szabvány. Megadja az ún. *néveleges használati tartomány* határait, amelyen belül a járulékos hiba nem haladja meg az osztályjelzésnek megfelelő hibahatárokat.

Például: műszerünk egy vízszintes használati helyzetű feszültségmérő. Pontossági osztálya $h_{po} = 1$. Mérésünkkor a műszert egy gépkocsi motorház-tetejére helyeztük, amely nem vízszintes, de dőlésszöge belül van a szabvány által néveleges használati tartományként megadott határon. Így a járulékos hiba $h_{járulékos} = h_{po}$.

Ekkor a műszer pontossága:

$$h_{po \text{ aktuális}} = h_{po} + h_{járulékos} = 1 + 1 = 2$$

3.7. Megengedhető túlterhelés

A műszereknek üzemelés közben egy adott ideig az előírt néveleges értéknél nagyobbat is el kell viselni meghibásodás nélkül.

A túlterhelhetőség viszonyszám, amely megmutatja, hogy a műszer előírt körülmények között a felső mérésárról hányszorosát képes elviselni károsodás nélkül.

A szabvány előírja a hosszú és rövid idejű túlterhelés mértékét. Ez laboratóriumi és üzemi műszerekre különböző. Például az üzemi műszereknek a néveleges érték 1,2-szeresét 2 órán keresztül bírniuk kell meghibásodás nélkül. A rövid idejű túlterhelésnél az impulzus maximumát, idejét és gyakoriságát adja meg a szabvány.

3.8. Különleges működési körülmények

A műszerek rendelkezésszerű használatánál nem hagyhatjuk figyelmen kívül azt a tényt, hogy az adott műszert milyen használati körülményekre tervezték. Figyelembe kell venni a mérőhely atmoszféráját (pára, ill. maró gőz tartalmát, hőmérsékletét), a mechanikai hatásokat (rázkódás, por) és az egyéb körülményeket, amelyek a műszer működését módosíthatják.

3.9. A műszerek jelölései





A villamos műszerek fontosabb jellemzőit a műszer skálalapján jelképi jelölésekkel tüntetik fel. A szabványos jelképi jelöléseket és értelmezésüket a 2. táblázat foglalja össze.

A műszereken és tartozékokon használható jelképek
2. táblázat.

A fontosabb mértékegységek és azok fontosabb többszörösei és törtrészei		Megnevezés
Jelkép		
kA	kiloamper	
A	amper	
mA	milliamper	
μ A	mikroamper	
kV	kilovolt	
V	volt	
mV	millivolt	
μ V	mikrovolt	
MW	megawatt	
kW	kilowatt	
W	watt	
Mvar	megavar	
kvar	kilovar	
var	var	
MHz	megahertz	
kHz	kilohertz	
Hz	hertz	
M Ω	megohm	
k Ω	kilohm	
Ω	ohm	
m Ω	milliohm	
T	tesla	
mT	millitesla	
$^{\circ}$ C	Celsius fok	

Ha más egységek és más tízes hatványszorzók szükségesek, lásd az MSZ 4900/... szabványsorozatot.

2. táblázat 1. folytatása.

Az áramnem és a mérőművek száma		Megnevezés
Jelkép		
—	Egyenáramú kör	
~	Váltakozó áramú kör (egyfázisú)	
~	Egyenáramú és váltakozó áramú kör	
~	Háromfázisú váltakozó áramú kör (általános jelkép)	
~	Háromfázisú váltakozó áramú kör, nem szimmetrikus terheléssel (általános jelkép)	
~	Egy mérőmű háromvezetékes hálózathoz	
~	Egy mérőmű négyvezetékes hálózathoz	
~	Két mérőmű háromvezetékes, nem szimmetrikus terhelésű hálózathoz	
~	Két mérőmű négyvezetékes, nem szimmetrikus terhelésű hálózathoz	
~	Három mérőmű négyvezetékes, nem szimmetrikus terhelésű hálózathoz	
Biztonság		
	Vizsgálati feszültség 500 V	
	Vizsgálati feszültség 500 V fölött (pl. 2 kV)	
	Feszültségpróbának alá nem vetett műszer	
	Nagyfeszültség a tartozékon és/vagy a műszereken	

2. táblázat 4. folytatása.

Általános jelképek	
Jelkép	Megnevezés
	Ikerfemes műszer
	Elektrosztatikus műszer
	Rezgőnyelves műszer
	Nem szigetelt hőátalakító
	Szigetelt hőátalakító
	Elektronikus rész a mérőkörben
	Elektronikus rész a segédáramkörben
	Egyenirányító
	Sönt
	Soros ellenállás
	Soros induktivitás
	Soros impedancia
	Elektrosztatikus árnyékolás
	Mágneses árnyékolás

2. táblázat 5. folytatása.

Általános jelképek	
Jelkép	Megnevezés
	Asztatikus műszer
	Az osztályjelnek megfelelő mágneses indukció milliteszlában kifejezve (pl. 2 mT)
	Földelőkapocs
	Nullapontállító
	Utalás külön okmányra
	Az osztályjelnek megfelelő villamos erőtér kV/m-ben kifejezve (pl. 10 kV/m)
	Tartozék (általában)
	Vas szerelvénylap, x mm vastag
	Vas szerelvénylap, bármilyen vastagsággal
	Vas szerelvénylap, bármilyen vastagsággal
	Nemvas szerelvénylap, bármilyen vastagsággal
	Bármilyen szerelvénylap, bármilyen vastagsággal

3.10. A villamos műszerek csoportosítása

A villamos mérőműszereket többféle szempont szerint csoportosíthatjuk:

- *felépítésük szerint* lehet elektromechanikus vagy elektronikus,
- *mérési elv szerint* lehet analóg vagy digitális,
- *pontosságuk szerint* - mint azt már láttuk - lehet üzemi vagy laboratóriumi.

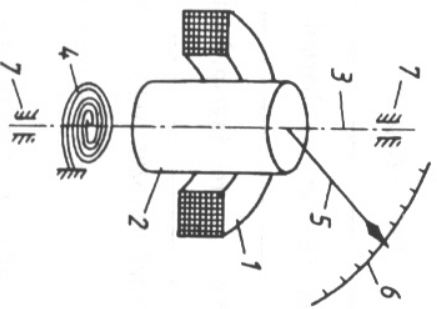
4. Az elektromechanikus műszerek

Az elektromechanikus műszerek villamos mennyiségek mérésére alkalmas mechanikus szerkezetek.

4.1. Működési elv, általános felépítés

Az ismeretlen mennyiség meghatározását nyomaték, ill. erő mérésére vezetjük vissza. Általában két nyomatékot hasonlítanak össze. Közülük az egyik a mérendő mennyiséggel arányos, a másik ismert nagyságú. A mérendő mennyiséggel arányos nyomaték a *kitérítőnyomaték*, jele M_k , az ismert nyomaték pedig a *visszatérítő nyomaték*, jele M_v .

Az általános elektromechanikus műszer a 3. ábrán látható. Az ábra alapján jól nyomon követhető az egyes szerkezeti elemek szerepe.



3. ábra. Általános elektromechanikus műszer elve
1 állórész; 2 lengőrés; 3 tengely; 4 rugó; 5 mutató; 6 skála; 7 csapágy

A kitérítőnyomaték – a műszerre kapcsolt mérendő mennyiség hatására – valamilyen irányba elfordítja a lengőrészt. Az elfordulás során a rugó a

kitérítőnyomatékkal ellentétes irányú nyomatékot – a visszatérítő nyomatékot – hoz létre, amelynek nagysága a lengőrész elfordulási szögétől függ. A lengőrész helyzetét, a sűrűdástől eltekintve, a kitérítő- és a visszatérítő nyomaték határozza meg. A lengőrész elfordulásakor egy meghatározott szög helyzetben a kitérítő- és a visszatérítő nyomaték egymással egyenlő, ekkor a lengőrész nyugalmi helyzetbe kerül. Ha megváltozik a mérendő mennyiség, akkor megváltozik a kitérítőnyomaték nagysága és ennek megfelelően a visszatérítő nyomaték nagysága is. Az egyensúly egy másik szöghelyzetben jön létre. Azt mondhatjuk, hogy a lengőrész minden nyugalmi helyzetéhez a mérendő mennyiség egyetlen értékét lehet hozzárendelni. A lengőrész helyzetét az elfordulás szögével tudjuk jellemezni, az pedig a mérőműszerbe vezetett villamos mennyiség nagyságára jellemző.

4.2. Az elektromechanikus műszerek közös szerkezeti elemei

4.2.1. Kitérítőnyomaték képzése

Az elektromechanikus műszerek kitérítőnyomatéka az álló- és a lengőrész között jön létre. Nagysága a műszer típusától függetlenül általános érvennyel meghatározható.

Az álló- és a lengőrész között a mérendő mennyiség hatására mágneses vagy villamos tér keletkezik, amely a lengőrészre F erővel hat. Az erő hatására a lengőrész kerületi pontja ds úton elmozdul. A lengőrész elmozdulásakor végzett munkát a mágneses vagy villamos energia dW változása fedezi:

$$F ds = dW.$$

Ebből

$$F = \frac{dW}{ds}.$$

A nyomaték, ha az erő hatásvonalának távolsága a forgástengelytől r :

$$M_k = F r = \frac{dW}{ds} r,$$

$$M_k = \frac{dW}{ds/r},$$

ahol $ds/r = d\alpha$, azaz az ívhosszhoz tartozó szögelfordulás, radiánban mérve. Így:

$$M_k = \frac{dW}{d\alpha}.$$

Ebből látható, hogy a kitérítőnyomaték létrejöttének feltétele az, hogy a mérőmű energiája a mérendő mennyiségtől és a lengőrész szögelfordulásától függjön. Tehát a kitérítőnyomaték általánosságban a mérendő mennyiség (x) és a szögelfordulás (α) függvénye:

$$M_k = f(x, \alpha)$$

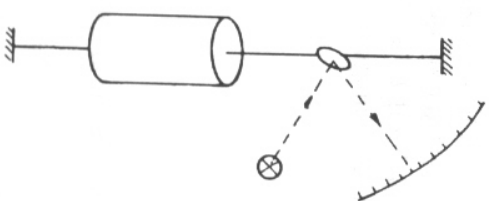
4.2.2. Visszatérítő nyomaték képzése

Visszatérítő nyomaték mechanikai úton vagy elektromechanikus szerkezettel hozható létre. Nagysága csak a szögelfordulástól függ; előjele a kitérítőnyomatékéval ellentétes, negatív.

A mechanikai visszatérítő nyomatékot rugó szolgáltatja. Régebben a súlyerőt is felhasználták nyomatékképzésre, de ekkor a műszer helyzetét minden mérésnél be kellett állítani, ill. a műszert csak helyhez kötötten lehetett használni.



4. ábra. Visszatérítő rugó



5. ábra. Feszített szálas műszer szerkezete

Nagyobb nyomatékok esetén lapos spirálrugót használnak, amelyek alakja archimedeszi spirális (4. ábra).

Kisebb nyomatékok esetén szálcsapágyazást alkalmaznak. A régebbi függesztett szálas megoldást szinte teljes mértékben kiszorította a feszített szálas megoldás. Ennél a lengőrészt egy mindkét végén befogott, általában téglalap keresztmetszetű torziós szál kapcsolja össze az állórészszel. Ez a szál tölti be a tengely, a csapágyazás, a visszatérítőnyomaték-képzés és az áram lengőrészbe vezetésének szerepét (5. ábra).

A visszatérítő nyomatékot a szál elcsavarodásakor keletkező torziós nyomaték szolgáltatja.

Mindkét megoldásnál a visszatérítő nyomaték a rugóállandó (c_T) ismeretében határozható meg:

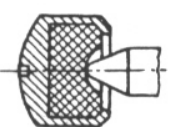
$$M_v = -c_T \alpha.$$

Az elektromechanikus visszatérítő nyomatékot ugyanolyan elvek szerint képezzük, mint a kitérítőnyomatékot. Lényegében két külön- vagy egybeépített mérőmű nyomatéka hat ellentétes értelemben a lengőrészre. Az így létrejövő egyensúlyi állapot a két mérőműbe vezetett villamos mennyiségek hányadosától függ, ezért ezeket a műszereket hányadosmérőknek is nevezzük.

4.2.3. Csapágyazás

A lengőrészre ható nyomatékok tárgyalásakor eddig a súrlódástól eltekintettünk, a valóságban azonban nem hagyhatjuk figyelmen kívül. A súrlódás nagysága a csapágyazástól függ.

Az elektromechanikus műszerekben leggyakrabban csúscsapágyazást, vagy más néven tűcsapágyazást és szálcsapágyazást (feszített szálat) alkalmaznak.



6. ábra. Tűcsapágyazás

A tűcsapágyazás kialakítása a 6. ábrán látható. A tengely végén csúcsot alakítanak ki, amely csapágykőben helyezkedik el. A súrlódás csökkentése szempontjából lényeges a csúcs és a csapágykő sugarának megválasztása.

A csapágyban ébredő súrlódás a lengőrészre ható nyomatékot hoz létre, amelynek iránya ellentétes a lengőrészt mozgató nyomatékkal. Ez a nyomaték

a sűrűdési nyomatok, jele M_s , és mivel iránya ellentétes lehet a kitérítő-, ill. a visszatérítő nyomatokkal, ezért előjele változó (\pm).

4.2.4. Csillapítószerszerkezet

A rugóval összeépített lengőrész lengőképes rendszert alkot, azaz a lengőrész az egyensúlyi állapotába úgy érkezik, hogy közben csillapodó lengéseket végez. Ha külön nem gondoskodnánk a lengőrész mozgási energiájának fel- emésztéséről, akkor a lengés idejét csak a csapágy és légsűrűdés korlátozná. A beállítás idejének lerövidítésére csillapítószerszerkezetet alkalmazunk.

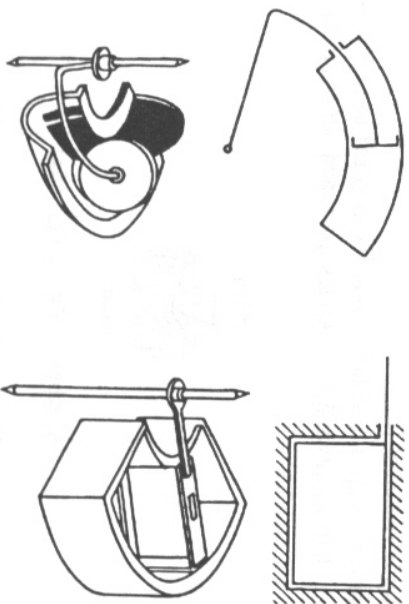
Elvárásunk a csillapítószerszerkezettel szemben, hogy fékezze a lengőrész mozgását, és ne legyen hatása nyugalmi állapotban. E két feltételt teljesül, ha a csillapítónyomatok kifejezése a következő:

$$M_{cs} = -k_{cs} \frac{d\alpha}{dt}.$$

Előjele negatív, kifejezve a fékezőhatást, amellyel ellene hat a mindenkor mozgósnak. Állandósult állapotban $\alpha = \text{állandó}$, tehát $d\alpha/dt = 0$, azaz $M_{cs} = 0$, nem befolyásolja az egyensúlyt.

Az elektromechanikus műszerek csillapítószerszerkezetei vagy mechanikus, vagy elektromágneses elven működnek.

A mechanikus csillapítók szárnyas, dugattyús, levegő- vagy folyadéktró- tésű, ill. a folyadékok tapadását kihasználó ún. rizszemcsillapítók lehetnek (7. ábra).



7. ábra. Mechanikus csillapítók

Az elektromágneses elven működő csillapítók az állandó mágnes erőteré- ben elmozduló vezetőanyagra, ill. zárt áramkörre ható, a mozgást gátló erő

fékezőhatását használják. Megoldásunk lehet lemezes (8. ábra), vagy tekercs- és keretcsillapítás.



8. ábra. Lemezes csillapító

4.2.5. A lengőrész mint tehetetlen tömeg

A fizikából ismert, hogy ha egy forgó test szögsebessége változik, akkor a test tehetetlenségéből eredő nyomatok lép fel, amely a szöggyorsulást előidéző nyomatokkal ellentétes hatású, így a szöggyorsulás ellen hat. Ez a nyomatok a tehetetlenségi nyomatok, jele M_θ , értéke:

$$M_\theta = -\theta \frac{d^2\alpha}{dt^2},$$

ahol θ a merev test forgástengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka, $d^2\alpha/dt^2$ a szöggyorsulás.

Konstruktív megoldásokkal igyekeznek θ értékét a lehető legkisebbre csökkenteni.

4.2.6. A mutató, a skála és a műszertok

Az előzőekben megállapítottuk, hogy a lengőrész szöghelyzete megadja a mérendő villamos mennyiség nagyságát. Ez a mérést végző számára úgy válik láthatóvá, hogy a lengőrészre szerelt *mutató* skála felett mozdul el. A mutató tehát a leolvasás eszköze.

A mutató kialakításakor elsőrendű szempont, hogy minél kevésbé ter- helje a lengőrészt. Az elektromechanikus műszerekhez valamilyen anyagból készített vagy fénymutatót alkalmaznak.

A *hagyományos mutató* a lengőrészre szerelt alumínium rudacska, tüveg- cső vagy tüvegszál. Kialakítása a műszer alkalmazásától függ.

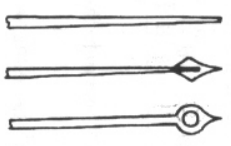
A *kései alakú mutatófej* nagymértékben megkönnyíti a helyes, számlapra mérőleges leolvasási irány megtalálását (9. ábra). E mutató esetén akkor hibátlan a leolvasás, ha a mutatót a legkeskenyebbnek látjuk.

Kényelmesebbé és pontosabbá teszi a leolvasást a *tükörskála*. Ennél a skála alá elhelyezett tükörben megjelenik a mutató tükörképe. A leolvasás akkor helyes, ha a mutató éle és a tükörkép fedésben van (10. ábra).

Ilyen *mutatókialakításnak* természetesen csak pontos műszereknél van értelme. Kisebb pontosságú műszereknél más szempontok hangsúlyosak (pl. gyors, könnyű, távolról történő leolvasás), amelyek a mutatófej kialakítását meghatározzák (11. ábra).



9. ábra. Késél alakú mutatófej
10. ábra. Tükörskála
1 skálalap; 2 tükör; 3 mutató



11. ábra. Mutatófej kialakításai

A *fénymutató* lengőrészére kis tükröt szerelnek. Egy fényforrás optikáival sugárnyalábbá koncentrált fényét a tükröre vetítik, és a visszavert sugárnyaláb a skálára esik. Ott egy fényfolt alakul ki, amelyben a szál képe látható (12. ábra).

A fényfolt helyzete a skálán a lengőrész helyzetétől függ. A műszer optikai rendszerének vázlatát a 13. ábrán láthatjuk.

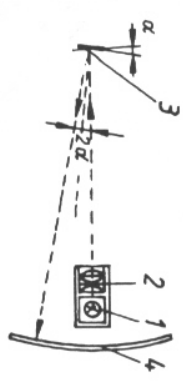
A fénymutató kisebb mértékben terheli a lengőrészt, mint a hagyományos mutató. Alkalmazásának másik előnye, hogy a fénymutató hossza lényegesen nagyobb lehet (több tükör alkalmazásával akár méteres is), mint a hagyományos mutató. Így adott lengőrész-elforduláshoz nagyobb elmozdulás tartozik, nagyobb lesz a műszer érzékenysége. Ezt idézi elő az is, hogy a lengőrész α elfordulásához a fénysugár 2α elfordulása tartozik (ld. a 13. ábrát).

A skálalap általában vékony alumínium lap, amelyre a skálajeleket rajzolják fel. Egy skálalapra több skálát is felvihetnek. A skálalapon a műszer fontos jellemzőit jelképi jelekkel tüntetik fel.

A műszereket **műszertokban** helyezik el. A műszertok védi a műszer mérőszereket a külső hatásoktól, és biztosítja a műszer esztrétkus és praktikus megjelenését.



12. ábra. Fénymutatós műszer skálája



13. ábra. Fénymutatós műszer optikai rendszere
1 fényforrás; 2 optika; 3 tükör; 4 skála

4.3. Elektromechanikus műszerek beállása

Az előzőkben részletezettek szerint az elektromechanikus műszer lengőrészére a következő nyomatékok hatnak:

- a kitérítőnyomaték (M_k),
- a visszaterítő nyomaték (M_v),
- a tehetetlenségi nyomaték (M_θ),
- a csillapítónyomaték (M_{cs}),
- a súrlódási nyomaték (M_s).

Amikor a műszer lengőrésze egyensúlyi helyzetben van, akkor a reáható nyomatékok eredője nulla. A nyomatéki egyenlet vagy mozgásegyenlet tehát:

$$M_k + M_v + M_\theta + M_{cs} + M_s = 0;$$

$$\frac{dW}{d\alpha} - c_r \alpha - \theta \frac{d^2 \alpha}{dt^2} - k_{cs} \frac{d\alpha}{dt} \pm M_s = 0.$$

Ha a lengőrész nyugodalomba jutott, akkor

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = 0 \quad \text{és} \quad \frac{d\alpha}{dt} = 0,$$

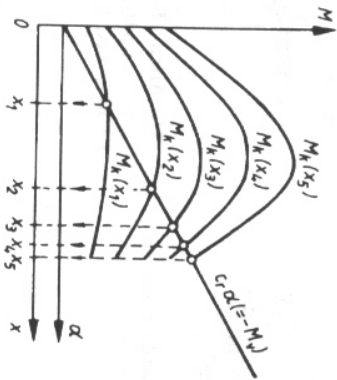
valamint, ha a súrlódási nyomatékokot elhanyagoljuk, akkor az egyenlet egyszerűbb alakot ölt:

$$M_k - c_r \alpha = 0, \quad \text{III.}$$

$$M_k(x, \alpha) = c_r \alpha.$$

Látható, hogy ez az egyenlet x és α közötti összefüggést adja meg, amiből α -t kifejezve nyernük a műszer alapegyenletét.

Ábrázoljuk koordináta-rendszerben mind a kitérítő-, mind a visszatérítő nyomatékot a szögkitérés (α) függvényében. Mivel a kitérítőnyomaték kétváltozós függvény $[M_k = f(x, \alpha)]$, így azt x rögzített értékekkel rajzoljuk a diagramba. A kapott görbék a 14. ábrán láthatók.



14. ábra. Kitérítő- és visszatérítő nyomaték

Ragadjuk ki az M_k görbesereg egy tagját, és nézzük meg, hogy a kitérítőnyomaték a rugóegyenessel való metsződése miképp lehetséges. Minőségileg a megoldás kétféle, amelyeket a 15a) és b) ábrákon tekinthetünk meg.

Vizsgálatainkhoz vezessük be a beállítónyomaték (M_b) fogalmát:

$$M_b = |M_k| - |M_v|$$

Nézzük először a 15a) ábrát. Mozdítsuk ki a lengőrészt α_0 -nál levő nyugalmi helyzetéből. Azt tapasztaljuk, hogy a keletkező beállítónyomaték a lengőrészt eredeti helyzetébe igyekszik visszaállítani, ez tehát *stabil egyensúlyi állapot*.

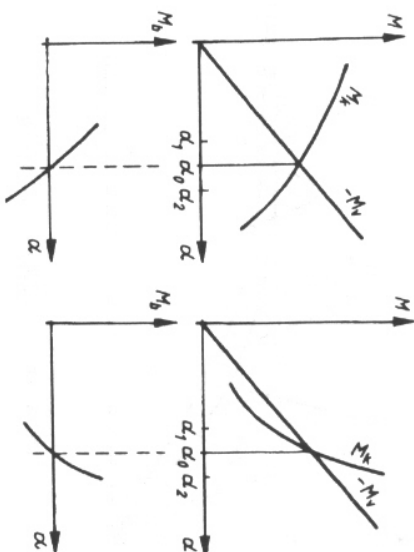
A 15b) ábrán látható nyomatékvizonyok esetén a nyugalmi helyzetéből kibillentett lengőrészt a keletkező beállítónyomaték az egyensúlyi állapottól egyre távolabbra téríti ki. Ez az *egyensúlyi állapot tehát labilis*.

Stabil az egyensúly, ha az $M_b = f(\alpha)$ monoton csökkenő, labilis, ha monoton növekvő.

Stabil egyensúlynál a

$$\left. \frac{dM_b}{d\alpha} \right|_{\alpha=\alpha_0} < 0$$

A mérés technikában természetesen csak stabil egyensúlyi állapotú műszerekkel szabad mérni.



15. ábra. A kitérítő- és a visszatérítő nyomaték viszonya egymáshoz

Kapcsoljunk segítséggrás alakú jelet a műszerre. A lengőrész mozgását ekkor a már korábban felírt mozgásegyenlet adja meg:

$$I \frac{d^2 \alpha}{dt^2} - c_r \alpha - \theta \frac{d^2 \alpha}{dt^2} - k_{cs} \frac{d\alpha}{dt} \pm M_s = 0.$$

Az egyenlet megoldásához magasabb szintű matematikai ismeretekre van szükség, így a megoldás mellőzésevel a lengőrész helyzetének változását a 16. ábrán láthatjuk.

A mozgás időbeni lefolyására a β , a csillapítás foka jellemző:

$$\beta = \frac{k_{cs}}{2\sqrt{\theta c_r}}.$$

Ha $\beta < 1$, periodikus beállásról;

$\beta > 1$, aperiodikus beállásról és

$\beta = 1$, aperiodikus határesetről beszélünk.

Az aperiodikus beállásnál és az aperiodikus határesetnél a mutató egyik oldalról haladva fokozatosan lassulva közelíti meg az α_0 nyugalmi helyzetet. A beállási idő nagy, úgy is mondják, „a mutató kúszik”. Periodikus esetben előnyös, hogy a beállási idő rövidebb és a túllendülés információ jelent. Meggyőzően bizonyítja, hogy a mérőmű épességében van, és nem azért állt meg a mutató, mert valami a mozgását gátolja. Ezért az elektromechanikus műszerek döntő többségének csillapítását úgy méretezik, hogy a beállás periodikus legyen.

A szabvány rögzíti az elektromechanikus műszerek beállási, ill. csillapítási idejét, valamint a túllendülés mértékét.

A mérendő mennyiség jelalakjának hatása is a frekvenciafüggéssel magyarázható. A nemszinuszos görbe alak felbontható alap- és felharmónikusok összegére, és a magasabb frekvenciájú felharmónikusok mérésénél frekvenciájával kell számolni.

Villamos tér jelenlétében a lengőrészre elektrosztatikus erő hat, és ez hibanyomatékot létesít. Külső villamos terek ellen a műszertok megfelelő kialakításával, a belső eredetű sztatikus zavarónyomaték ellen pedig a műszer konstrukciójával védekezhetünk.

4.4.4. Mágneses hibaforrások

Leggyakoribb mágneses hibaforrás, mikor egy műszer vastárgy közelébe kerül. Ekkor megváltozik a szórásí pályák mágneses ellenállása, és változik a belső mágneses tér is. Hasonló a helyzet az állandó mágnesű műszerek mágnesnek öregekedésekor is.

Külső mágneses terek hatása a belső mágneses térrel összegződik. Az ellenük való védekezésnek két módja lehetséges: a mágneses árnyékolás vagy az asztatizálás.

Árnyékolásnál a mérőművet lágymágneses anyagú vékony lemezből készült burkolattal vesszük körül.

Az asztatizált műszer mérőszervezete két egyforma hagyományos mérőművet tartalmaz. A közös tengelyre szerelt lengőrésztű mérőszervezetek kapcsolása olyan, hogy a mérendő mennyiség hatására keletkező nyomatékok összegződnek, míg a külső mágneses tér hatására keletkezők kivonódnak.

4.5. Állandó mágnesű műszerek

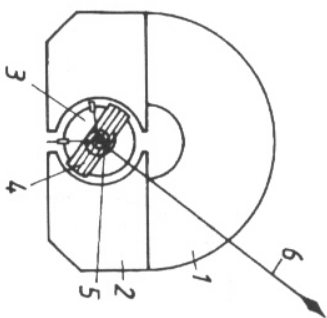
Az állandó mágnesű műszereket lengőtekercses vagy első megalkotójuk után Déprez-műszereknek is nevezzük.

A Déprez-műszer működése azon a fizikai törvényszerűségen alapszik, hogy ha mágneses térben levő vezetőbe áramot bocsátunk, akkor a vezetőre erő hat.

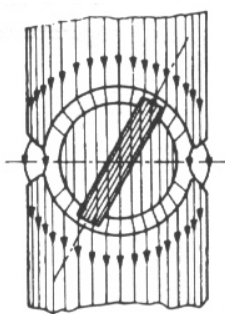
A lengőtekercses műszer állórészét állandó mágnes alkotja. Ennek terébe helyezik a lengőrészt alkotó tekercset, amelybe a mérendő áramot vezetik. Attól függően, hogy az állandó mágnes a tekercshez képest hol helyezkedik el, külső és belső mágnesű műszerről beszélünk.

Külső mágnesű műszer szerkezeti vázlatát látható a 18. ábrán. Itt a mágnes a tekercsen kívül található. Az állórész az 1 állandó mágnesből, a hozzá

erősített 2 lágymas pólussarukból, a pólussaruk között levő rögzített 3 pólusmagból, a 4 tekercsből, az 5 visszatérítő rugóból és a 6 mutatóból épül fel.



18. ábra. A Déprez-műszer szerkezete



19. ábra. Mágneses tér alakulása lengőtekercses műszer légrészében

A pólusmag koncentrikus elhelyezését, így a légrészben sugárirányú hógén mágneses tér alakul ki, melyben az indukció értéke állandó. A pólus szélén a szórás miatt az indukció csökken, ezért a lengőrész elfordulási szögét úgy választjuk meg, hogy ezt a részt a mérésnél ne használjunk (19. ábra).

Az áram által átjárt, az indukcióra merőlegesen elhelyezkedő vezetőre ható erő:

$$F = BIl,$$

ahol B a mágneses indukció, I a vezetőben folyó áram, l a vezető hossza.

A műszer N menetszámú, l hasznos oldalhosszúságú tekercsének egyik felére ható erő:

$$F = NBll.$$

A tekercs szemben levő oldalán az áram ellentétes, de az indukció is ellentétes irányú így a lengőtekercsre erőpár hat. Ha a tekercs szélessége $2r$, akkor a keletkező nyomaték, ami a műszer kitérítőnyomatéka:

$$M_k = 2rNBll.$$

A visszatérítő nyomatékot rugó szolgáltatja:

$$M_v = c_r \alpha, \text{ így}$$

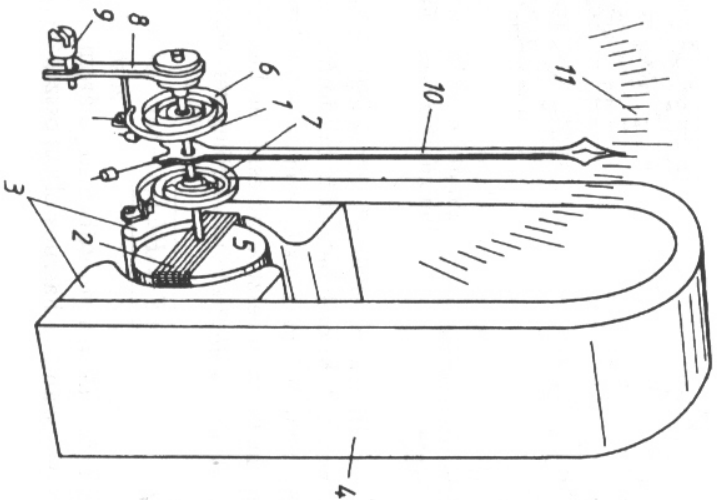
$$M_k = M_v;$$

$$2rNBll = c_r \alpha;$$

$$\alpha = \frac{2rNBII}{c_r};$$

$$\alpha = EI,$$

ahol E állandó, a műszer érzékenysége.



20. ábra. Külső mágnesű műszer szerkezete

1 tengely; 2 lengőtekeres; 3 lágyvas mágnes; 4 állandó mágnes; 5 pólushag; 6 rugó
7 rugó; 8 nullapontállító; 9 nullapontállító csavar; 10 mutató; 11 skála

Külső mágnesű műszer teljes szerkezetét mutatja be a 20. ábra. Jól megfigyelhetők rajta a műszer korábban már említett, és eddig még nem tárgyalt szerkezeti elemei. Láthatjuk a 9 nullapontállító csavart, mely a 6 rugón keresztül hat az 1 tengelyre, a két visszatérítő nyomaték-képző rugót (6, 7), amelyek az áram 2 lengőtekeresbe való bevezetését is végzik. A két rugó szembe fordításával kiküszöbölhető a rugók hőmérséklet-változás okozta hibája. A belső mágnesű műszereknél a tekercesen belül helyezkedik el a mágnes (21. ábra).

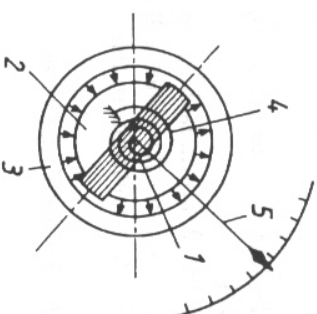
A hengeres 2 mágnesmagnetet lágyvasból készült 3 gyűrű fogja körül, ez biztosítja az erővonalak záródását. A belső mágnesű műszer legszembetűnőbb előnye a kicsiny geometriai méret.

A Déprez-műszerekhez elektromágneses csillapítót, főleg a keret- és a tekerescsillapítót alkalmazták.

A keretcsillapításnál a lengőtekerceset vékony vezető anyagból készült keretre tekeresellk. Mikor a lengőrész a mágneses térben mozog, benne feszült-ség indukálódik, saját ellenállásán keresztül áram folyik. Ezen áram mágneses terének és az állandó mágnes terének kölcsönhatásából keletkező nyomaték - Lenz törvénye értelmében - a lengőrész mozgását csillapítja.

Hasonló a helyzet a tekerescsillapításnál, csak ott a csillapítónyomatékat a műszer tekercesén átfolyó áram mágneses tere és az állandó mágnes terének egymásra hatása hozza létre.

Gyakori e kétféle csillapítás együttes alkalmazása.



21. ábra. Belső mágnesű műszer szerkezete

1 lengőtekeres; 2 állandó mágnes; 3 lágyvas gyűrű; 4 rugó; 5 mutató

4.6. Lágyvasas műszerek

A mágneses térbe helyezett ferromágneses anyagra erő hat. A lágyvasas mérőmű állórésze egy tekeres, amelyet a mérendő áram gerjeszt. E tekeres mágneses terében helyezkedik el a lengőrész lágyvas lemezkéje. Megfelelő kialakítással érik el, hogy a lágyvas lemezkére ható a lengőrész tengelyére nyomatékot fejtsen ki.

A tekercsben felhalmozott mágneses energia arányos az önindukciós tényezővel (L), és a tekercesen átfolyó áram effektív értékének négyzetével.

$$W_m = \frac{1}{2} LI^2.$$

A korábbiakban láttuk, hogy

$$M_k = \frac{dW}{d\alpha},$$

$$M_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha} I^2,$$

$$M_v = c_r \alpha,$$

$$M_k = M_v,$$

$$c_r \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{dL}{d\alpha} I^2,$$

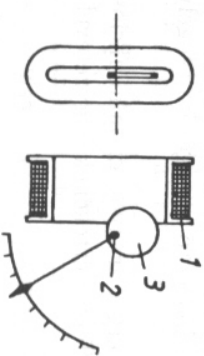
$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{c_r} \cdot \frac{dL}{d\alpha} I^2 = E \cdot I^2.$$

Látható, hogy a lágyvasas műszer kitérése a mérendő áram effektív értékének négyzetével arányos.

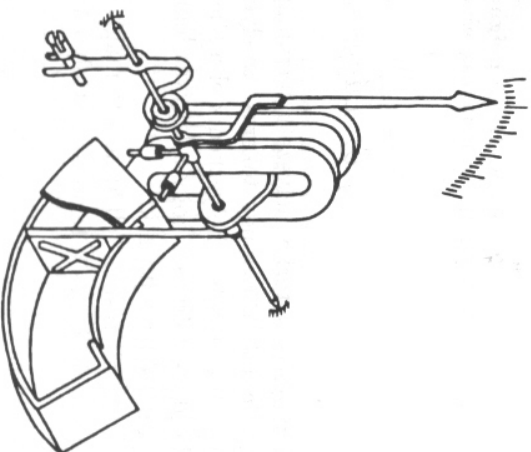
A gerjesztőtekeres kialakítása szerint megkülönböztetünk lapostekercses és keretekecrcses műszereket.

A lapostekercses műszer a 22. ábrán látható. A laposra kialakított 1 gerjesztőtekeres részében a 3 lágyvas lemezke elmozdulhat. Működéskor a tekercs mágneses tere a 2 tengelyre aszimmetrikusan felszerelt lemezket behúzza, és ezzel nyomatókat létesít.

Egy teljes lapostekercses mérőmű szerkezete a 23. ábrán látható.



22. ábra. Lapostekercses műszer



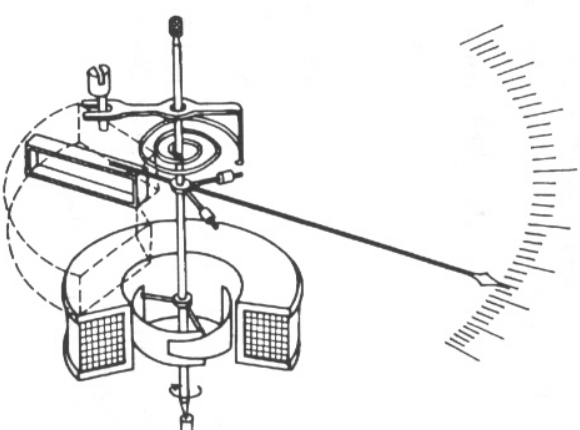
23. ábra. Lapostekercses műszer felépítése

Keretekecrcses műszer látható a 24. ábrán. Az 1 tekercs belsejében a 3, 4 lágyvas lemezke helyezkedik el. Az egyiket az állórészhez, a másikat a 2

tengelyhez rögzítik. A tekercs mágneses tere a lemezkéket felmágnesezi, így köztük taszítóerő keletkezik, aminek hatására a tengelyre szerelt lemezke elmozdul, nyomatókat hoz létre. A teljes mérőmű rajzát a 25. ábrán láthatjuk.



24. ábra. Keretekecrcses műszer szerkezete



25. ábra. Keretekecrcses műszer

A skálakarakterisztikát a hengeralást alakú lágyvas lemezkek alakjával lehet befolyásolni.

4.7. Elektrodinamikuss műszerek

A Déprez-műszerek lengőtekerese állandó mágnes által létrehozott mágneses térben mozdul el. Ha ezt a mágneses teret nem állandó mágnes, hanem egy gerjesztett tekercs hozza létre, akkor elektrodinamikuss műszerről beszélünk.

A mágneses kör kialakítása szempontjából megkülönböztetünk vasmagos és vasmentes elektrodinamikuss műszert.

4.7.1. Vasmagos elektrodinamikuss műszerek

Felépítését és működési módját tekintve számos rokon vonást mutat az állandó mágnesű műszerrel. A mágneses kör itt is vaszáródású, a mágneses teret tekercs hozza létre. A műszer vázlata a 26. ábrán látható.

A B légrésindukció értéke a tekercsen átfolyó árammal arányos:

$$B = k i_1,$$

ahol k az arányossági tényező, i_1 pedig az állórész árama.

A Déprez-műszerhez hasonlóan a kitérítőnyomaték:

$$M_k = 2r N B i_2 l = B N A i_2 = k N A i_1 i_2.$$

$$M_v = c_r \alpha,$$

$$M_k = M_v,$$

$$c_r \alpha = k N A i_1 i_2;$$

$$\alpha = \frac{k N A}{c_r} i_1 i_2,$$

$$\alpha = E i_1 i_2,$$

ahol E a mutató szögkitérése az álló- és a lengőrészen átfolyó áram szorzatával arányos.

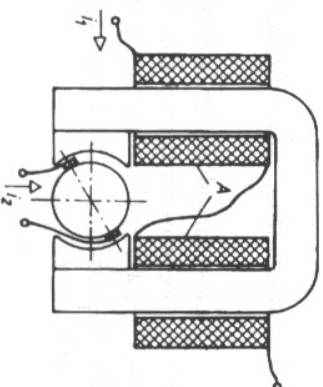
Egyenáram esetén

$$\alpha = E i_1 i_2,$$

váltakozó áram esetén

$$\alpha = E i_1 i_2 \cos \phi,$$

ahol ϕ a két áram közötti fáziseltérés.



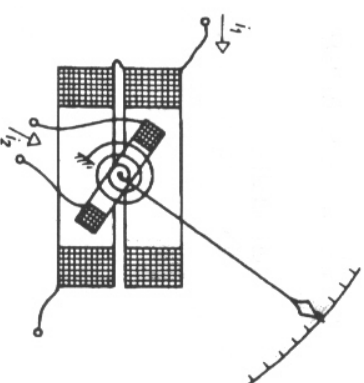
26. ábra. Vasmagos elektrodinamikus műszer szerkezete

Látható tehát, hogy a műszer egyen- és váltakozó áram mérésére egyaránt alkalmas, kitérése az áramok effektív értékének és a köztük levő fáziseltérés koszinuszának szorzatával arányos.

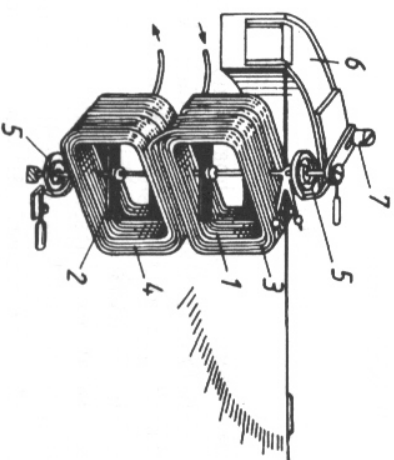
A vasmagos elektrodinamikus műszert ferrodinamikus műszernek is nevezik.

4.7.2. Vasmentes elektrodinamikus műszerek

A vasmentes elektrodinamikus műszer működése elvileg megegyezik a vasmagos elektrodinamikus műszerével. Alapvető különbség, hogy a mérőmű nem tartalmaz vasmagot, a két tekercs erővonalai teljes egészében levegőben záródnak.



27. ábra. Vasmentes elektrodinamikus műszer szerkezete



28. ábra. Vasmentes elektrodinamikus műszer felépítése
1-2 lengőtekercs; 3-4 állótekercs; 5 rugó; 6 csillapító; 7 nullapontállító

Az állórész tekercsének belsejében helyezkedik el a lengőtekercs. Az állótekercs mágneses térének és a lengőtekercsben folyó áram kölcsönhatásának eredménye a kitérítőnyomaték (27. ábra).

Skálaegyenlete megegyezik a vasmagos elektrodinamikus műszer skálaegyenletével.

A vasmentes elektrodinamikus műszer külső mágneses terek zavaró hatására nagyon érzékeny, mivel mágneskőre nyitott. A keletkező hibát leggyakrabban asztatizálással, esetleg árnyékolással küszöbölik ki.

A műszer szerkezeti felépítését a 28. ábrán mutatjuk be.

Megfigyelhető az asztatizált mérőmű (két azonos mérőmű egy tengelyen), valamint az elektrodinamikus műszereknél általában alkalmazott mechanikus csillapító.

4.8. Hányadosmérők

A hányadosmérők olyan műszerek, amelyeknél a visszatérítő nyomatékot a rugó helyett elektromechanikus elven képezzük. Általában a kitérítő- és a visszatérítő nyomaték egyazon mérőműben képződik.

Ahogyvan azt a korábbiakban megismertük, a kitérítőnyomaték:

$$M_k = f(x_1, \alpha),$$

és a hányadosmérők esetében a visszatérítő nyomaték is hasonló:

$$M_v = f(x_2, \alpha).$$

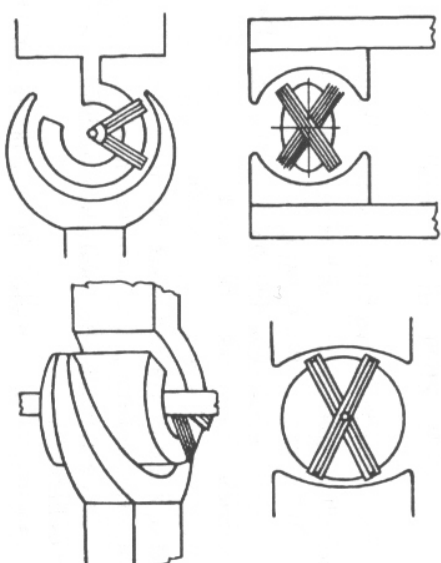
A két nyomaték egyenlőségéből:

$$\frac{x_1}{x_2} = k f(\alpha)$$

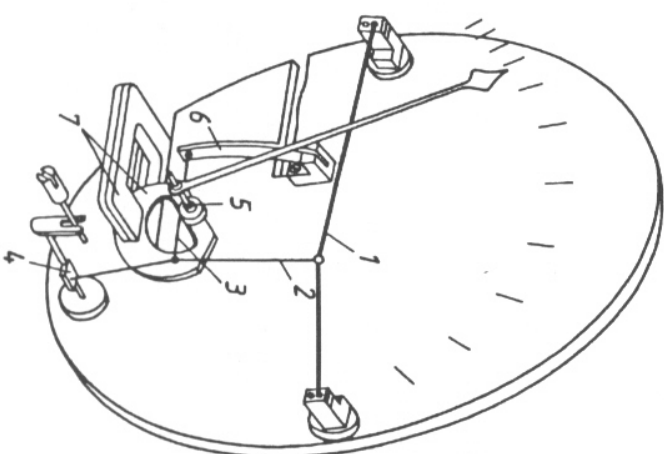
összefüggés következik, amely azt jelenti, hogy a műszer kitérése a két mérőműbe vezetett mennyiség (x_1, x_2) hányadosától függ. A nyomatéki egyenlet részletes (de jelen tanulmányainkat meghaladó) elemzéséből a helyes működés érdekében a műszer konstrukciójára szigorú szabályok adódnak. Ezek egyrészt a nyomatéki egyenletek lefűtésére vonatkozóan jelentenek megkövetelést, másrészt a műszer tekercseinek bekötését is pontosan szabályozzák.

Leggyakrabban az állandó mágnesű hányadosmérőket alkalmazzzák. Felépítésük hasonló a Déprez-műszerhez, de a kitérítő- és visszatérítő nyomatékok képző mérőművet egyesítették, így lengőrészükön két egymással szöglet bezáró tekercset találunk. A lengőrész jellegzetes alakja miatt kereszttekercses műszereknek is nevezik őket.

A pólussaruk és a lengőrésztekercsek kialakítására láthatunk megoldásokat a 29. ábrán.



29. ábra. Pólussaruk és a lengőrésztekercsek kialakítása kereszttekercses műszerekben



30. ábra. Hődrótos műszer

4.9. Hődrótos műszerek

Működésük a testek hőmérséklet-változás hatására bekövetkező méretváltozásán alapul. Egy lehetséges megoldás szerkezeti vázlatát és működését a 30. ábrán láthatjuk. A mérendő áramot az 1 ellenállásinuzalon vezetjük keresztül. Az áram hatására a huzal felmelegszik és megnyúlik. Ezt a megnyúlást visszük át a 2 és 3 közvetítő szákkal a mutató tengelyére. A 2 szál egyik vége a hődróthoz, másik vége a 4 nullapontállító csavarhoz csatlakozik. A 3 huzal a 2 száltól kiindulva a tengelyre erősített 5 görgőn át a 6 szálfelezítő lemezzugóhoz van erősítve. A hődrót megnyúlásakor a szálrendszer és a görgő közvetítésével a mutató elmozdul. A 7-tel jelölt szerkezet a műszer elektromágneses csillapítója.

Más kialakítású műszereknél hődrót helyett ikerfémeket (bimetált) alkalmaznak.

Tudjuk, hogy az ellenállásokon keletkező hőmennyiség az átfolyó áram effektív értékének négyzetével arányos, így a megnyúlás (ill. ikerfém esetén az elhajlás is), tehát a műszer kitérése is ezzel lesz arányban.

5. Az elektromechanikus műszerek alkalmazása

Ebben a fejezetben a már megismert elektromechanikus műszerek használatát tekintjük át, külön tárgyalva az áramerősséget mérő ampermérőket, a feszültséget mérő voltmérőket, és esetenként az ellenállást mérő ohmmérőket. Megismerhetjük a műszerek méréshatár bővítésének problémáit is.

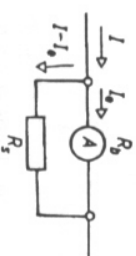
5.1. Állandó mágnesű műszerek

5.1.1. Állandó mágnesű ampermérők

Az állandó mágnesű műszer skálaegyenletéből megállapíthatjuk, hogy a mérőszervezet áram mérésére közvetlenül alkalmas.

Az áram lengőrészbe való bevezetésére – ahogyan azt korábban láttuk – a rugók szolgálhatnak. A közvetlenül mérhető áram nagyságának a rugók termikus terhelhetősége szab határt. A Déprez-műszerrel közvetlenül max. 30..50 mA mérhető. Ennél nagyobb áram mérésére a műszert egy párhuzamosan kapcsolt ellenállás bekötésével teherjük alkalmazásá. Ezt az ellenállást *söntnek* nevezzük. Az állandó mágnesű műszer árammérésére tehát *sönttel* terjeszthető. A söntelés nélküli Déprez-ampermérőt *alpműszernek* is nevezik. A söntellenállást vagy egybeépítik az alpműszerrel, vagy a külső söntöt – a mérés határának megfelelően kiválasztva – a felhasználónak kell összekapcsolnia az alpműszerrel.

A sönt bekötését a 31. ábrán láthatjuk.



31. ábra. Állandó mágnesű műszer söntelése

Határozzuk meg a söntellenállás nagyságát, ha az alapműszeren I_0 áram folyhat keresztül, belső ellenállása pedig R_b ! A mérendő áram értékét jelöljük I -vel, a söntellenállást R_s -sel.

$$R_s(I - I_0) = I_0 R_b,$$

$$R_s = \frac{I_0 R_b}{I - I_0} = \frac{R_b}{I/I_0 - 1}.$$

Az I/I_0 viszony azt fejezi ki, hogy a műszer méréshatárát hányszorosára terjesztettük ki. Ha ezt n -nel jelöljük, akkor:

$$R_s = \frac{R_b}{n - 1}.$$

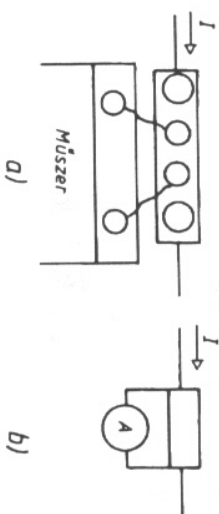
Látható, hogy a kapott ellenállás értéke R_b -nél kisebb, és minél nagyobb áramot akarunk mérni, annál kisebb söntellenállásra van szükség. A mérendő áram nagy része a söntön fog átfolyni, a műszeren csak a söntön eső feszültség és a belső ellenállás által meghatározott áram folyik. A helyzet úgy is felfogható, hogy alapműszerünk a söntön eső feszültséget méri.

Az alapműszerek paramétereit egyszerűsítették a műszergyártók. Kötött a műszeren végkiteréskor átfolyó áram, és az ugyanezt előidéző, a műszerre kapcsolható legnagyobb feszültség ($U_0 = I_0 R_b$) értéke. Ezeket a paramétereiket külső sönt alkalmazásakor figyelembe kell venni. Olyannyira fontosak, hogy mind a műszeren, mind a söntön fel kell tüntetni őket. Ezek az értékek általában 0,6, ill. 5 mA és 60, 75, 150 mV.

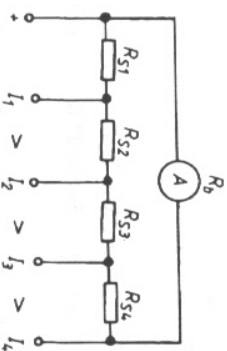
A söntellenállások igen kis értékek, pl. egy 60 mV, 5 mA-es műszerhez készült 5 A mérésére szolgáló sönt 12 mΩ nagyságú. Ilyen kicsi mérőellenállásnál már számottevő lehet (hiszen azonos nagyságrendbe esik), a hozzávetések (vezeték, ill. csatlakozások) ellenállása. Kiküszöbölésükre a söntökön (és hozzá hasonlóan a többi kísértékű mérőellenállásokon) négy csatlakozót találunk [32a] ábrán. A külső kettő az áram bevezetésére, a belső két a műszer csatlakoztatására szolgál. A műszercsatlakozók között mérhető a sönt pontos ellenállásértéke, ezeket *definiációs csatlakozóknak* nevezik. A sönt négy-sarkú bekötésének szabványos jelölése a 32b) ábrán látható.

Beépített sönt esetén általában több méréshatárú műszert készítenek. Több méréshatárú ampermérő kapcsolása a 33. ábrán látható. Az ábra jelöléseivel a legnagyobb mérhető áram I_1 . Ekkor csupán az R_{s1} szerepel söntként, a többi ellenállás a műszer belső ellenállásával kapcsolódik sorba. A legkisebb méréshatár I_4 -hez tartozik, ekkor az összes ellenállás ($R_{s1} \dots R_{s4}$) a sönt szerepét tölti be.

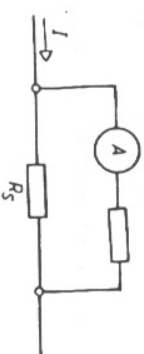
Az alapműszerek lengőtekerese rézhuzalból készül. A réz ellenállása nagymértékben függ a hőmérséklettől, így a hőmérséklet-változás hibát okozna a mérésben. Ezt a hőmérsékleti hibát a mérőkör hőmérsékletfüggésének csökkentésével küszöbölik ki. A műszer tekerccsével egy olyan ellenállást kötnek sorba, amelynek hőmérsékletfüggése csekély. Ez az érzékenység romlását okozza, de a hőmérsékleti hiba nagymértékben csökkenthető. A sorba kötött manganimhuzal ellenállását a műszer belső ellenállásába beleértik, azt külön a rajzokon sem tüntetik fel (34. ábra).



32. ábra. Sönt bekötése és rajzjele



33. ábra. Többméréshatárú ampermérő kapcsolása



34. ábra. Kompenzáló ellenállás

A Dèprez-árammérők alsó méréshatárát az alapműszer határozza meg. Szálcapágyazású műszerrel ez 1 μ A is lehet. A felső méréshatár beépített sönt esetén 30 A.

Dèprez ampermérővel az árammérés elérhető pontossága 0,1 %.

5.1.2. Állandó mágnesű vóltnmérők

A Dèprez-műszer feszültségmérésre úgy tehető alkalmassá, hogy rajta a feszültséggel arányos áramot vezetünk át. Az alapműszer $U_0 = I_0 R_b$ feszültsége azonban kicsi. Nagyobb feszültséget úgy mérhetünk, hogy a műszer ellenállásának értékét a belső ellenállással sorba kötött előtét-ellenállással (R_e) megnöveljük (35. ábra).

Így a mérhető feszültség:

$$U = I_0(R_b + R_e).$$

A műszer kitérése:

$$\alpha = EI_0 = \frac{E}{R_b + R_e} U,$$

$$\alpha = kU.$$

A szorzóként szereplő k állandó, így a feszültség és a szögkitérés közötti kapcsolat lineáris.

Az előtét-ellenállás értéke:

$$\frac{U}{R_b + R_e} = \frac{U_0}{R_b},$$

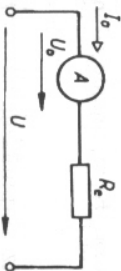
$$R_e = R_b \left(\frac{U}{U_0} - 1 \right),$$

$$R_e = R_b(n - 1),$$

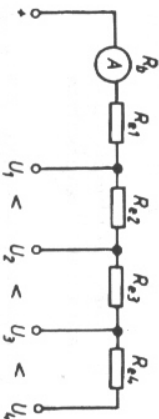
ebből

ahol most n -nel az U/U_0 hányadosot jelöltük.

Beépített előtéttekkel több méréshatárú voltmérőket is készítenek. Egy ilyen, lépcsős előtétet alkalmazó műszer kapcsolása a 36. ábrán látható.



35. ábra. Előtét-ellenállás



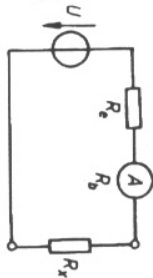
36. ábra. Több méréshatárú voltmérő kapcsolása

Az állandó mágnesű feszültségmérők alsó méréshatárát az alapműszer adja, ez százcsepapágyas kivitelnél 1 mV lehet. Felső méréshatárunk 600 V.

Déprez-műszeres feszültségmérők – hasonlóan az árammérőkhöz – elérhető pontossága 0,1 %.

5.1.3. Állandó mágnesű ohmmérők

A Déprez-műszer ellenállásmérésre is alkalmazható. Egyik lehetséges megoldását, a leggyakrabban használt soros ohmmérőt, a 37. ábra mutatja.



37. ábra. Soros ohmmérő

A műszer kitérése:

$$\alpha = \frac{E}{R_b + R_e + R_x} U.$$

Ha R_x végtelen, azaz szakadás van, akkor $\alpha = 0$, és a műszer mutatója $R_x = 0$ vagyis rövidzár esetén kerül végkitérésbe. A szögkitérés összefüggéséből látható, hogy a skála nem lineáris.

Az alkalmazott segédfeszültség változása közvetlenül kihat a mérés pontosságára, ezért mérés előtt a műszert hitelesíteni kell.

A soros ohmmérő 1 Ω és 10 M Ω közti ellenállások mérésére alkalmas, meglehetősen pontatlan műszer.

5.1.4. Egyenirányítós műszerek

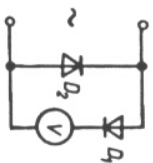
A Déprez-műszer váltakozó mennyiség mérésére is alkalmazható tehető egyenirányítóval. Egyenirányítóval a váltakozó mennyiség valamelyik jellemző értékével (abszolút, közép-, effektív- vagy csúcserőtelkével) arányos, 0-tól különböző középértékű kitérőmennyiséget vezetünk a mérőműbe.

Az elektronikában megismert A , B és C osztályú egyenirányítókat alkalmazhatjuk. Elektromechanikus műszerekhez szinte kizárólag a B osztályú egyenirányítót használják. A C osztályú csúcs-egyenirányítók inkább az elektronikus műszerekben fordulnak elő.

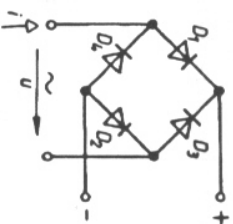
A B osztályú átlagmérő-kapcsolások lehetnek együteműek – ha a méréndő váltakozó mennyiségnek csak az egyik félperiódusát – vagy kétüteműek, ha mindkét félperiódust méri.

Az együtemű soros diódás megoldás kapcsolása a 38. ábrán látható. A D_1 dióda által egyenirányított jelet (J), ami lehet áram vagy feszültség) kapja meg a műszer, mely ennek megfelelően a $J_k = J_{max}/\pi$ értéket méri. A műszert úgy készítik, hogy arról szinuszos jelalak esetén az effektív értéket

leghessen leolvasni. Így az tetszőleges jelalakok esetén az abszolút középvérték $\pi/\sqrt{2}$ -szerezését mutatja.



38. ábra. Együtemű, soros diódás egyenirányítós műszer

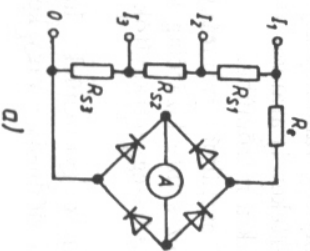


39. ábra. Kétütemű, kétutas egyenirányítós műszer

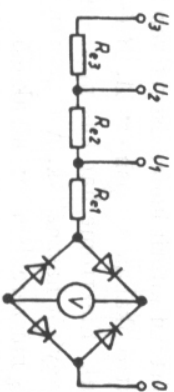
Az együtemű egyenirányító a mérőkört a két félperiódusban különböző mértékben terheli. Ezt a hátrányos tulajdonságot küszöböli ki a D_2 dióda. Belkötésével a műszer mindkét félperiódusban közel ellenállást jelent a kapcsolás felé.

A kétütemű egyenirányítási módok közül az egyenirányítós műszerekben leggyakrabban a kétütemű, kétutas, azaz a Graetz-kapcsolást alkalmazzák (39. ábra). Ebben a kapcsolásban a teljes periódusidőben folyik áram, a kitérés a jel abszolút középvértékével arányos. A műszer tiszta szinuszos jelalaknál az effektív értéket mutatja. Tetszőleges jelalak esetén az abszolút középvérték 1,11-szeresét olvashatjuk le róla. Az egyenirányítós Dèprez-műszerek ezzel a megoldással készíthetnek.

Készítenek egyenirányítós Dèprez-ampermérőt [40a) ábra], voltmérőt [40b) ábra] – mindkettőt több mérészhatóval is – és mind egyen-, mind váltakozó áram és feszültség mérésére alkalmas ún. univerzális műszereket is.



a)



b)

40. ábra. Egyenirányítós a) ampermérő és b) voltmérő több mérészhatóval

Az egyenirányítós műszerek pontosságát az eddig ismert hibaforrásokon túl az egyenirányítók hibái is befolyásolják. Ezért az egyenirányítós műsze-

rekkel elérhető pontosság kisebb, mint a Dèprez-műszerek megfelelő értéke: 1,0...1,5 %.

5.1.5. Termoátalakítós műszerek

Termoátalakítós műszerekhez a Dèprez-mérőművet közvetett úton használjuk fel. A termoátalakító két részből áll: a hőelemből és a fűtőszálból.

A mérendő mennyiséggel arányos áram felmelegíti a műszer fűtőszálát. A keletkezett hőmennyiség az átfolyó áram négyzetével arányos. A hőelem (amelynek működését a későbbiekben részletesen megismerhetjük) ezt a hőmennyiséget arányos feszültségé alakítja, az így kapott feszültséget pedig állandó mágnesű voltmérővel mérjük. A voltmérő kitérése:

$$\alpha = kI^2,$$

ahol k állandó, I pedig a mérendő mennyiséggel arányos áram.

5.2. Lággyvasas műszerek

5.2.1. Lággyvasas árammérők

A korábbiakban láttuk, hogy a lággyvasas műszereknél a kitérés:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{c_t} \cdot \frac{dL}{d\alpha} I^2.$$

Az induktivitás kifejezhető a menetszámmal (N) és a mágneses ellenállással (R_M):

$$L = \frac{N^2}{R_M}.$$

Ezt az előbbi egyenletbe helyettesítve:

$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{c_t} \cdot \frac{d(1/R_M)}{d\alpha} (NI)^2.$$

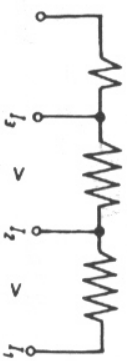
Látható, hogy a kitérés a gerjesztés (NI) négyzetével változik. Ez azt jelenti, hogy egy adott mérőszerezen belül a gerjesztés is adott. Azonos nagyságú gerjesztés elérésére kis áram esetén nagy menetszámú, nagy áram

esetén pedig kis menetszámú tekercsre van szükség. Ez szabja meg a lággyvasas ampermérők alsó és felső méréshatárát: 0,1 A-től 300... 400 A-ig.

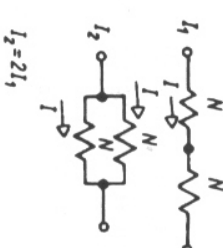
Az alsó méréshatárt az korlátozza, hogy a vékony, kis keresztmetszetű huzalból készült tekercsnek nagy az impedanciája, így a rajta eső feszültség is nagy.

A felső méréshatárnál, nagy áramok mérésekor egyetlen menet alkotja a műszer állórészét.

Több méréshatárú ampermérőt kétféleképpen készítenek. Az egyik módszer, hogy az állórészt különböző menetszámú és vastagságú vezetőkből készült sorbakötött tekercsek alkotják, melyeknek egyik vége megcsapolásként ki van vezetve (41. ábra). Ekkor a tekercsek térbeli elhelyezkedéséből adódó eltérések miatt az egyes méréshatárokhoz más és más skála tartozik.



41. ábra. Több méréshatárú lággyvasas ampermérő



42. ábra. Átkapcsolható 1:2 méréshatárú lággyvasas ampermérő

A több méréshatárú árammérő készítésének másik módja, hogy két szimmetrikus tekercset alakítanak ki, amelyeket vagy sorba, vagy párhuzamosan lehet kapcsolni (42. ábra). Ezáltal 1:2 arányú méréshatár-változtatás érhető el, mivel a gerjesztés a két méréshatárnál nem változik.

A méréshatár áramváltóval is bővíthető.

A lággyvasas ampermérők pontosságát elsősorban a lággyvas anyaga, tulajdonságai határozzák meg. Sorozatgyártású műszereknél az elérhető pontosság 0,5 %.

5.2.2. Lággyvasas voltmérők

A lággyvasas mérőmű feszültség mérésére úgy tehető alkalmassá, hogy a műszeren átfolyó áramot korlátozzuk. Ez egyrészt a tekercsek ellenállásának növelésével, másrészt előtét-ellenállások sorba kapcsolásával lehetséges.

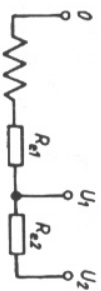
Ha a mérendő feszültség U , a voltmérő körében levő összes ellenállás R ($R = R_b + R_2$), akkor a tekercsen átfolyó áram értéke $I = U/R$, így a műszer

alapegyenlete:

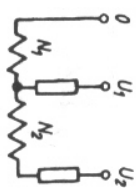
$$\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{c_1} \cdot \frac{dL}{d\alpha} \cdot \frac{1}{R^2} \cdot U^2$$

Látható, hogy a lággyvasas voltmérő kitérése a mérendő feszültség effektív értékének négyzetével arányos.

Több méréshatárú voltmérő készülhet úgy, hogy csak az előtét-ellenállások változnak a méréshatárnak megfelelően (43. ábra). Ekkor a végkitérésnél folyó áram állandó, így a nagyobb méréshatárokból a műszer fogyasztása megnő.



43. ábra. Több méréshatárú lággyvasas voltmérő



44. ábra. Több méréshatárú lággyvasas voltmérő

A méréshatár-változtatás másik módja, hogy az egyes méréshatárokhöz más menetszám és más előtét tartozik (44. ábra). Ekkor – az árammérőkhöz hasonlóan – más és más skála tartozik az egyes méréshatárokhöz.

A lággyvasas voltmérők alsó méréshatára 30 V. Ennél kisebb méréshatár esetén nagymértékben megnő a műszer áramfelvétele. Felső méréshatárunk 600 V, amelyet az előtétteken fellépő veszteségek és szigetelési okok korlátoznak. Feszültségváltó használatával ez a felső méréshatár is bővíthető. Pontosságuk a lággyvasas ampermérőkével megegyező.

5.3. Elektrodinamikus műszerek

Az elektrodinamikus műszerek mindkét fajtáját – a vasmentest és a vasmentes – egyaránt alkalmazzák, azonban mikor elektrodinamikus műszerekről beszélünk, akkor mindig vasmentes műszert értünk, annak szélesebb körű elterjedése miatt.

Vasmagos elektrodinamikus műszert akkor használnak, ha nagy a nyomtatékigény vagy különleges zavarállóság igénye jelentkezik (pl. regisztráló-műszerekben, ill. kapcsolótáblákban).

5.3.1. Elektrodinamikus ampermérők

Az elektrodinamikus mérőmű közvetlenül alkalmas áram mérésére.

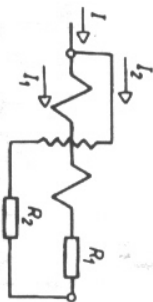
A legegyszerűbb ampermérőnél a két tekercset sorba kapcsolják. A 45. ábrán látható a két részre bontott állórésztekeres és a rá merőleges lengőtekeres. Ebben a kapcsolásban a két tekercsen átfolyó áram megegyezik ($I_1 = I_2 = I$), így közöttük fáziseltérés nincs, tehát a műszer alapegyenlete:

$$\alpha = EI^2,$$

azaz a kitérés a mérendő áram effektív értékének négyzetével arányos.



45. ábra. Elektrodinamikus ampermérő



46. ábra. Elektrodinamikus ampermérő

Ez a közvetlen kapcsolás az áramot bevezető rugók termikus terhelhetősége miatt csak 0,5 A-ig használható.

Nagyobb áramok mérésére alkalmas kapcsolás a 46. ábrán látható. Az állótekeres és a vele sorba kapcsolt hőkompenzáló ellenállás értékét R_1 -gyel jelöljük, a lengőtekeres és a vele sorba kapcsolt hőkompenzáló ellenállás értékét R_2 -vel. A mérendő áram megoszlása:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \quad \text{és} \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I.$$

Az áramokat az alapegyenletbe helyettesítve:

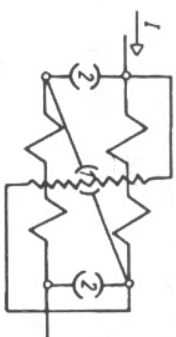
$$\alpha = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)^2} EI^2 = E'I^2.$$

A skála ebben az esetben is négyzetes.

Használatosak olyan ampermérők, amelyek méréshatára 1:2 arányban változtatható. A két méréshatár úgy hozható létre, hogy az állótekeres két szimmetrikus részre osztjuk, és ezeket sorosan vagy párhuzamosan kapcsoljuk (47. ábra).

E műszereknél a méréshatárt a dugaszok áthelyezésével lehet váltani.

Az elektrodinamikus ampermérők alsó méréshatára 30 mA, felső méréshatára 100 A, mely áramváltóval tovább bővíthető. A műszerekkel elérhető pontosság 0,5 %.



47. ábra. Átkapcsolható, 1:2 arányban változtatható méréshatárú elektrodinamikus ampermérő kapcsolása

5.3.2. Elektrodinamikus voltmérők

Az elektrodinamikus voltmérőkben az álló- és lengőrész tekercsét sorba kapcsolják, és a méréshatárnak megfelelő ellenállással előtételik (48. ábra).



48. ábra. Elektrodinamikus voltmérő kapcsolása

Ha a teljes kör ellenállása R , akkor $I = U/R$ -t helyettesítve a műszer alapegyenletébe:

$$\alpha = \frac{1}{R^2} EU^2 = E''U^2$$

Több méréshatárú voltmérőt lépcsős előtét-ellenállás alkalmazásával lehet készíteni.

Elektrodinamikus voltmérők 30 V-tól 600 V-ig terjedő méréshatárokkal készülnek. Ennél nagyobb feszültségek feszültségváltóval mérhetők. Pontosságuk az ampermérőkéhez hasonló.

5.3.3. Elektrodinamikus wattmérők

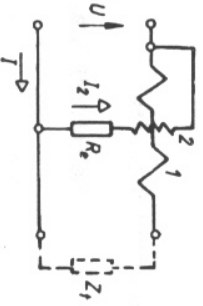
Az elektrodinamikus műszerek legelterjedtebb alkalmazási területe a villamos teljesítményt mérő műszer. Erre a műszert a mérőmű szerkezete és alapszűrője teszi alkalmassá. A műszer alapegyenlete:

$$\alpha = EI I_2 \cos \varphi,$$

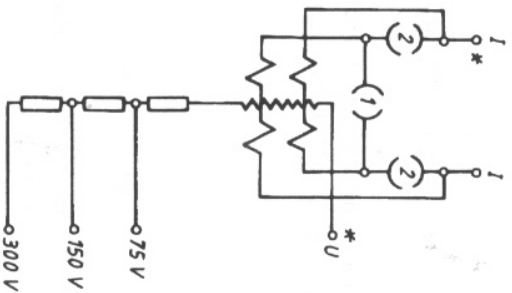
amelyben I_1 és I_2 az álló, ill. a lengőrészen átfolyó áram, φ pedig a közöttük levő fázissszög.

Ha a műszert úgy kötjük be, hogy az egyik áram (pl. I_1) a terhelésen átfolyó áram legyen, a másik áram (pl. I_2) a terhelésen levő feszültséggel legyen arányos ($I_2 = U/R_e$), akkor a műszerről éppen a hatásos teljesítményt lehet leolvasni (49. ábra):

$$\alpha = EI_1 \frac{U}{R_e} \cos \varphi = E^* P$$



49. ábra. Elektrodinamikus wattmérő



50. ábra. Több mérésű wattmérő kapcsolása

A wattmérő kapcsolási vázolata a 50. ábrán látható. A műszer több mérésű, mind az árammérésű, mind a feszültségmérés-határ külön váltózatú, így a végkiteréshez tartozó teljesítmény többféle lehet.

A műszeren megkülönböztető jelzéssel (pl. *-gal) látják el az áramtekercs kezdetét, ill. a feszültségtekercs közvetlen – nem az előtét-ellenállásokhoz csatlakozó – végét.

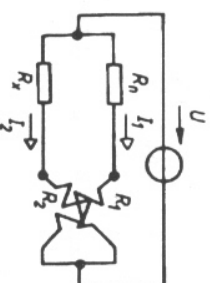
A kezelőszervek közt polaritásváltó kapcsolót találunk, mely a feszültségtekercsben folyó áram irányát fordítja meg átkapcsoláskor.

Teljesítménymérők 0,1 A, 30 V mérésűhatártól 20 A, 600 V mérésűhatárig készülnek, pontosságuk elérheti a 0,1 %-ot.

5.4. Keresztekercses műszerek

Keresztekercses műszerek leggyakoribb alkalmazása a soros ohmmérő műszer. Kapcsolását az 51. ábrán láthatjuk. Az R_1 ellenállású tekercset ismert ellenálláson (R_n) keresztül, az R_2 ellenállású tekercset az ismeretlen R_x ellenálláson keresztül kapcsoljuk az U feszültségforrásra. A műszer ágaiban folyó áramok:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_n}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2 + R_x}$$



51. ábra. Keresztekercses ohmmérő

A műszer kitérése a két áram hányadosával arányos, így:

$$\alpha = f \left(\frac{R_2 + R_x}{R_1 + R_n} \right)$$

ahol R_1 , R_2 és R_n állandók, így a műszer kitérése csak R_x -től függ, a skála közvetlenül ellenállásmérésre készíthető el.

Az U feszültség a hányadosképzésnél kiesett, ami azt jelenti, hogy váltózása nem befolyásolja a mérést.

6. A regisztrálóműszerek

A méréseket végzők régi vágya, hogy a kiértékelést az adott fizikai folyamat lezajlása után is elvégezhessék. Ma már számos korszerű eszköz teszi ezt lehetővé. Memóriaoszilloszkóp képes megjeleníteni és tárolni a mért jellemzőket vagy azokkal arányos jeleket, ill. sokféle számítógépes adatgyűjtő-kiértékelő rendszer és program nyújtja ugyanezt vagy még ennél is többet.

A regisztrálóműszerek elektromechanikus műszerek, melyek lehetővé teszik, hogy valamely folyamatot lezajlása után is kiértékelhessünk. A korszerű eszközök megjelenésével a regisztrálóműszerek jelentősége csökkent, de egyszerű felépítésük és kezelhetőségük, valamint a többi műszernél lényegesen alacsonyabb áruk miatt ma is számos területen alkalmazzzák őket.

A regisztrálóműszerek a mutatón kialakított írószerkezettel végzik feladatukat. Az írószerkezet mozgatásához nagyobb nyomatokra van szükség, mint a csupán mutató műszerek működéséhez. Ez a nyomatékigény szabja meg az alkalmazható mérőműtípusokat.

Egyenáramhoz állandó mágnesű mérőművet, váltakozó áramhoz egyenáramú Dèprez- vagy ferrodinamikus mérőművet használnak. Ennek megfelelően a mért jellemző közép-, vagy effektív értékével arányos a műszer által jelzett érték.

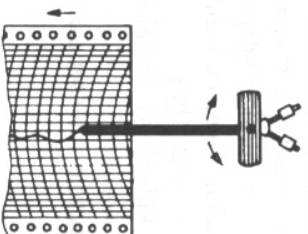
Igen kis tehetetlenségű lengőrésszel is készítenek állandó mágnesű mérőművet. Ezekkel a mérendő mennyiség pillanatértékeit is fel lehet venni az adott maximális változási sebességig.

Az írás módjára sokféle megoldás terjedt el, megkülönböztethetünk vonalírókat, pontírókat, szikraírókat és fényírókat.

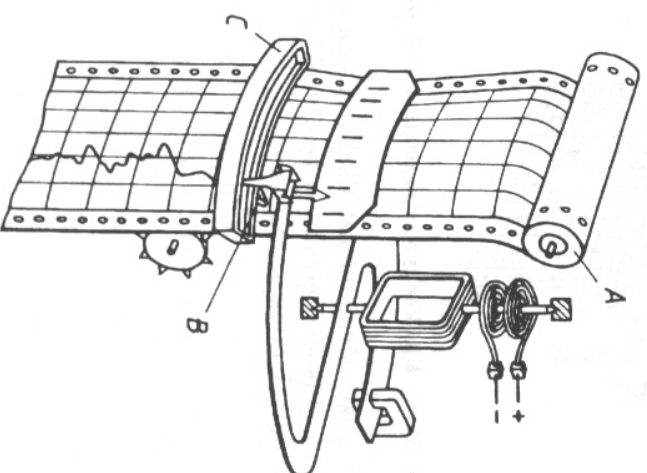
A *vonalírók* többféleképpen rajzolhatnak folytonos vonalat a regisztrálópapírra: pl. mutatóvégre erősített, megfelelő tintájú írótollal írnak vagy speciális nyomásérzékelny regisztrálópapíron hagy nyomot a mutató végén levő acél-tű. Mindkettő hátránya a nagy súrlódás, így a nagy nyomatékigény.

A *pontírók* nem rajzolnak folyamatos vonalat, a mutató, mint a hagyományos műszeréknél, szabadon mozoghat. A regisztrálópapír és a mutató között festékszalag van. Egy alkalmas szerkezet a mutató időnként a papírhoz nyomja, s – az írógépekhez hasonlóan – a közbetett festékszalag miatt

a papíron pontszerű nyom marad. A festékszalagok váltogatásával különböző színű diagramok rajzolhatók. A pontírók nyomatékigénye kisebb, mint a vonalíróké.



52. ábra. Regisztrálóműszer görbe vonalú koordináta-rendszerrel



53. ábra. Regisztrálóműszer derékszögű koordináta-rendszerrel

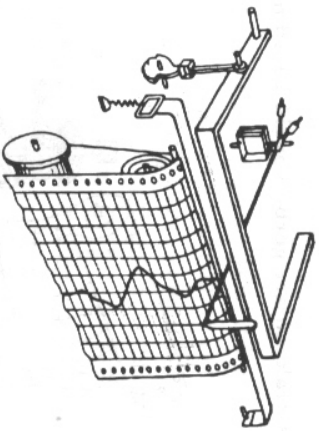
A *szikraírók* vékony regisztrálópapírját nagyfeszültségű villamos szikrával átütve kapnak pontszerű égetett lyukakat. Az egyik elektróda a papír alatti fémhenger, a másik a mutató végén levő tű.

A *fényírók* különleges fényérzékeny papírra készítik a regisztrátumot. A műszerben levő fényforrás fényét – a fénymutatós műszerekhez hasonlóan – a lengőrésze szerelt tűkör optikai rendszeren keresztül vetíti a fotopapírra. Külön előhívás nélkül a megvilágított részek rövid idő múlva láthatóvá válnak. Ilyen fényíró a pillanatértékeket is regisztráló hurkos oszcillográf.

A műszerek mutatóvége elforduláskor körpályán mozdul el. Ha nem különleges a műszerkialakítás, akkor a regisztrátumot görbe vonalú koordináta-rendszerben lehet csak értékelni (52. ábra).

A műszer szerkezetének különleges kialakításával ez elkerülhető. Erre mutat példát az 53. ábra.

A legelterjedtebb ejtőkengyvel műszer mint tiplikus pontíró vázlatát az 54. ábrán láthatjuk.



54. ábra. Ejtőkengyvel regisztrálóműszer

Természetesen regisztrálóműszereket alkalmaznak a nem villamos mennyiségek méréséhez is. Működési elvükre a későbbiekben kitérünk, de a regisztrálórészre elmondottak rájuk is érvényesek.

7. Analóg elektronikus műszerek

A mérés technikában az egyen- és a váltakozófeszültség mérése a leggyakrabban előforduló mérési feladat, mivel a mérés technikai problémák nagy része feszültségmérésre vezethető vissza.

Az analóg elektronikus műszerek döntő többsége feszültségmérő. Ebben a kategóriába tartoznak még az univerzális műszerek vagy más néven multiméterek is.

7.1. Analóg elektronikus feszültségmérők

Az analóg elektronikus feszültségmérőknek az eddig megismert elektromechanikus műszerekkel szemben számos előnyös tulajdonságuk van. Ezek az előnyök a következők:

- Bemeneti ellenállásuk a mérendő feszültségtől, ill. a mérés határtól függetlenül $M\Omega$ nagyságrendű. Ez azt eredményezi, hogy a műszer elenyésző mértékben terheli a mérendő áramkört, azaz a rendszeres hiba elhanyagolhatóan kicsi.
- Az elektronikus feszültségmérők érzékenysége sokkal nagyobb, mint az elektromechanikus műszereké. A velük mérhető legkisebb feszültségérték μV nagyságú, csak a zaj szab határt neki.
- Széles frekvenciatartományban használhatók váltakozó feszültség mérésére. Felső határfrekvenciájuk néhány száz MHz lehet.
- Az elektronikus feszültségmérők túlterhelés-védelemmel készülnek, így többszörös túlterhelést is kibírhatnak meghibásodás nélkül.

Ahhoz, hogy az elektromechanikus műszerekkel szembeni hátrányos tulajdonságait megismerjük, tekintsük meg felépítésüket az 55. ábrán. A műszer egy jelfeldolgozó-átalakító elektronikát, és a mért értéket kijelző Déprezműszert tartalmaz.

Felépítéséből következően hátrányos tulajdonságai:

- Pontossága általában rosszabb, mint az elektromechanikus műszereké, hiszen az állandó mágnesű műszer hibájához hozzáadódik az elektronika

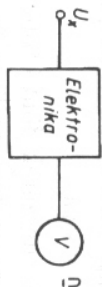
hibája.

$$h_{\text{műszer}} = \sqrt{h_{\text{elektronika}}^2 + h_{\text{Dèprez-műszer}}^2}$$

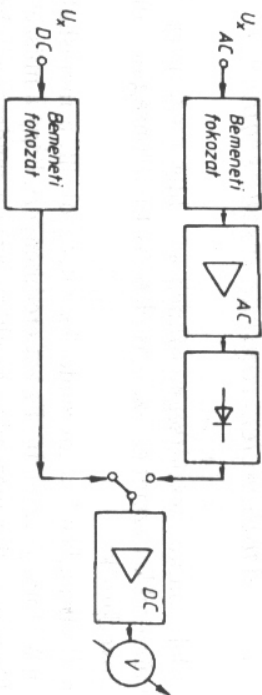
Az elektronika hibája állandó, míg a Dèprez-műszer aktuális hibája függ a mért értéktől.

b) Az elektromechanikus műszereknél bonyolultabb felépítésű, drágább készülékek.

Az elektronikus feszültségmérő általános felépítésének tömbvázlatát látjuk az 56. ábrán. Az egyenfeszültség (DC) és a váltakozó feszültség (AC) mérése a műszeren belül eltér.



55. ábra. Elektronikus feszültségmérő



56. ábra. Elektronikus feszültségmérő felépítése

A bemeneti fokozat mindkettőnél a mérendő jel kívánt mértékű leosztását végzi, s egyúttal a műszer nagy bemeneti impedanciáját biztosítja.

Váltakozó feszültség mérése esetén célszerű a jel kívánt szintre való erősítését az egyenirányítás előtt, váltakozó feszültséggel elvégezni. Ez azért előnyös, mert a váltakozó feszültségű erősítők felépítése egyszerűbb, és velük kisebb jelszintek erősítése is könnyen lehetséges.

A kijelzőműszer egyenáram hatására tér ki, így váltakozó feszültség mérésekor a mérendő jelet egyenirányítani kell.

A mért jel értékét a Dèprez-műszer kiterése alapján állapítjuk meg. A műszeren átfolyó áram azonban csak meghatározott értéket érhet el. A kijelzőműszer mérendő jellel arányos, adott határértékű áramellátását biztosítja az egyenfeszültségű erősítő.

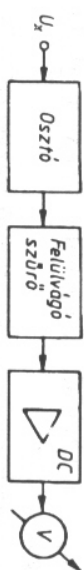
Az elektronikus feszültségmérőknek számos változata létezik, amelyek a műszer rendelkezésének megfelelően az ismertetettken túl tartalmazhat

más egységeket is, ill. más sorrendben használja fel a fokozatokat. Az is előfordulhat, hogy a felsoroltak közül valamely egység kimarad. Mindig az adott mérési feladat dönti el a műszer felépítését, és az határozza meg az elektronikus feszültségmérő típusát is.

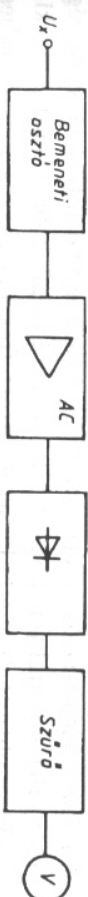
A leggyakoribb elektronikus feszültségmérő típusok és azok legjellegzetesebb tulajdonságai a következők:

a) *Egyenfeszültség-mérők*

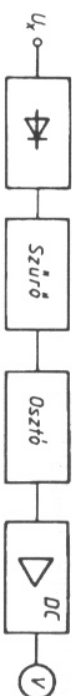
A műszer felépítése az 57. ábrán látható.



57. ábra. Egyenfeszültség-mérő elektronikus műszer



58. ábra. Kisfrekvenciás elektronikus feszültségmérő



59. ábra. Nagyfrekvenciás elektronikus feszültségmérő

A bemeneti osztó a mérés határértékét szolgálja, valamint a műszer nagy bemeneti impedanciáját biztosítja.

Az aluláteresztő felülvágó szűrő a jel váltakozófeszültségű komponenseit szűri ki.

Az egyenfeszültségű erősítő a Dèprez-műszer energiaellátását biztosítja.

b) *Kisfrekvenciás elektronikus feszültségmérők*

A műszer tömbvázlata az 58. ábrán látható. Az egyes tömbök funkcióját már megismegeshettük. Megfigyelhetjük, hogy az utolsó két egység együttesen más, mint egy egyenirányítós Dèprez-műszer. Így tehát a műszer által mért érték az abszolút középtérték 1,11-szeresével egyenlő (1. egyenirányítós Dèprez-voltmérő).

A váltakozó áramú erősítő mV nagyságrendű feszültségek mérését is lehetővé teszi, viszont a mérhető jel frekvenciájának legnagyobb értéke 100 kHz.

c) Nagyfrekvenciás elektronikus feszültségmérő

A műszer felépítését az 59. ábrán láthatjuk. A bemeneten található diódás csúcs-egyenirányító hátránya, hogy a dióda karakterisztikája miatt kis feszültségeknél a jel torzított lesz. Ezért a műszerek legérzékenyebb állásában a mérésáttár 1 V.

Általában a mérendő jel csúcsertékét mérik, és a műszerek szinuszos effektív értékre vannak skálázva. A mért érték: $U_m = U_{csúcs} / \sqrt{2}$.

d) Szelektív elektronikus feszültségmérők

A szelektív elektronikus feszültségmérők feladata, hogy a több különböző frekvenciakomponenst tartalmazó jelből csak egy meghatározott frekvenciájú jel nagyságát mérjék.

A valóságban minden jel több különböző frekvenciájú összetevőt tartalmaz. Adódik ez a jelgenerátor torzításából, ill. a külső és belső eredetű zajokból. A szelektív elektronikus feszültségmérők nagy pontosságú, zajmentes váltakozó feszültség mérését teszik lehetővé.

A műszer felépítése összetett. A vizsgált jelből egy beállított sáv szélesség tartományába eső frekvenciájú váltakozó feszültségű komponenst szűr ki, és annak amplitúdóját méri. Ez a beállított frekvenciasáv a műszer teljes frekvenciatartományában kijelölhető.

Az ilyen típusú szelektív feszültségmérők frekvenciatartománya 30 Hz ... 1 MHz között van, a legkisebb mérhető feszültség 10... 50 μ V. Felső mérésáttárunk néhány voltig terjed.

7.2. Univerzális elektronikus műszerek

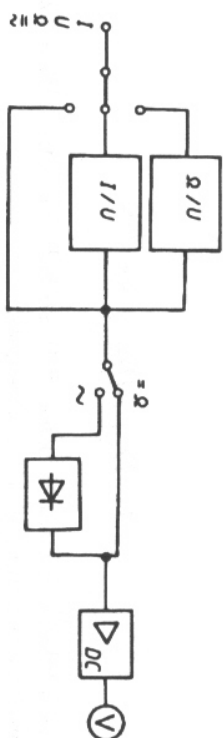
A méréstechnikának szinte minden területén szükség van olyan könnyen kezelhető, üzembiztos készülékekre, amelyekkel egyen- és váltakozó mennyiség, valamint ellenállás mérhető. Ilyen célt szolgálhatnak az univerzális műszerek. Az analog univerzális elektronikus műszerek korábbi egyeduralmát az ilyen funkciójú digitális műszerek megjelenése jelentősen csökkentette.

Jellegetes univerzális műszer tömbvázlata a 60. ábrán látható.

Egyenfeszültség mérésekor a mérendő feszültség közvetlenül csatlakozik a bemeneti osztóra, egyenáram mérésekor az áram-feszültség átalakító adja az egyenfeszültség-erősítő kivánt nagyságú bemenőjelét. Hasonló az ellenállás mérés, amikor az ellenállás-feszültség átalakítót követi az egyenfeszültség-erősítő, majd a kijelzőműszer.

Váltakozó feszültség, ill. váltakozó áram mérésekor az egyenfeszültség-erősítőt egyenirányító előzi meg.

Műszerünk tehát mindkét áramnem és valamennyi mért mennyiség esetén az ismeretlen jellel arányos egyenfeszültséget méri.



60. ábra. Univerzális elektronikus műszer tömbvázlata

8. Digitális műszerek

8.1. Digitális mérések

A digitális kifejezés a latin digitus (ujj) szóból származik, és a számolás legősibb eszköze, az ember tíz ujjára utal.

A digitális megnevezés azt jelenti, hogy a mérés során számlálunk, azaz a keresett információt számlálás eredményeképpen kapjuk meg. A digitális műszerekben általában az eredmény számjegyes formában is megjelenik.

Az analóg mérések során a mérendő mennyiséget vele arányos, számunkra jól érzékelhető másik analóg jelle alakítottuk át. Például a feszültségmérés eredményét egy skálaszakasz vagy egy szögkitérés jelenti meg.

A digitális mérés technikában a mérési tartományt kis egységekre osztjuk fel, és azt vizsgáljuk meg, hogy a mért értékben az alapul választott kis egység hányszor van meg. A mérési tartomány felosztását *kvantálásnak*, a legkisebb egységet pedig mérési kvantumnak nevezzük.

A *mérési kvantum* nagysága a mérés pontosságával függ össze. A pontosságot elsősorban az határozza meg, hogy mekkorára választottuk a legkisebb egységet, mert az eredmény a mérési kvantum egész számú többszöröse. Az elérhető pontosság 0,001 %, ami jobb, mint az analóg műszereké.

A digitális mérés során tehát meghatározandó, hogy a mérendő mennyiségben (x_M) hányszor van meg az x mérési kvantum

$$N = \frac{x_M}{x}.$$

Az így kapott szám (N) független a mérendő jel jellegétől, számlálóval számlálható.

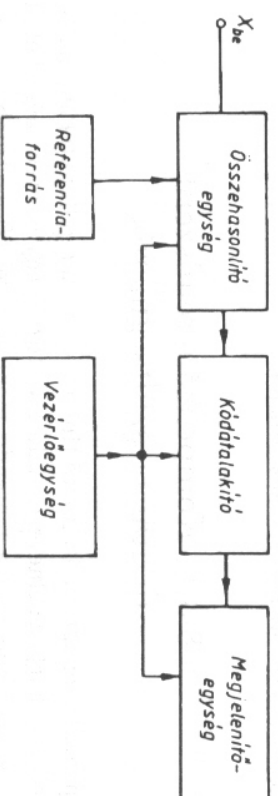
Az analóg műszerek sokféle mérés határa helyett a digitális műszereknek nagy intervallumát fogása, ill. automatikus mérés határátváltása van, a mérés eredménye általában közvetlenül alkalmas továbbfeldolgozásra.

A digitális műszerek hátrányos tulajdonsága, hogy az analóg műszerekhez képest bonyolultabb a felépítésük, több alkatrészt, több áramkört igényelget tartalmaznak, és bizonyos mérések a – műszerek jellegéből fakadóan – nehezebben végezhetőek velük, mint az elektromechanikus műszerekkel. Az integrált áramkört technika fejlődésének eredményeképp mérésük jelentősen

kisebb az analóg műszerekénél. Áruk az integrált áramkörök és korszerű kijelzők széles körű elterjedésével egyre csökken, már nem számottevően drágábbak az analóg műszerekénél.

8.2. A digitális műszerek felépítése

A digitális műszerek funkcionális felépítését a 61. ábra alapján tekintjük át. A mérendő mennyiséget az összehasonlító egység az alapmértékkel hasonlítja össze. Az összehasonlítás mindig analóg jellegű, és ezzel egyidejű a kvantálás is. A kódátalakító egyszeres vagy többszörös kódátalakítást végző. A megjelenítőegység az eredményt jelzi ki. A vezérlőegység a készülték központi egysége: ez adja a megfelelő áramkörök működéséhez a vezérlőutasításokat és állítja elő a vezérlőjeleket, amelyek a méréshez szükségesek. A használt referenciamennyiségek a műszer rendeltetése szerint eltérőek lehetnek. A leggyakoribb referenciamennyiségek: referenciafeszültség, referenciafrekvencia, precíziós ellenállások.



61. ábra. Digitális műszerek

8.3. Digitális feszültségmérők

A digitális feszültségmérők a mérendő egyenfeszültséget digitális információvá, majd a kijelzőn megjelenő számmá alakítják át. Az első digitális voltmérő megjelenése óta számtalan típust fejlesztettek ki. Jelenleg olyan sokféle digitális voltmérő van forgalomban, hogy teljes körű rendszerezésük jóformán lehetetlen. Ezért csak a leggyakoribb megoldásokkal ismerkedünk meg a későbbiek során.

Minden digitális feszültségmérő analóg–digitális átalakítót (A/D átalakítót) tartalmaz. A sokféle működési elvű A/D átalakító közül kiválasztott megoldás alapvetően meghatározza a műszer tulajdonságait.

Az analóg–digitális átalakító jellegétől függően tehát többféle működési elvű digitális feszültségmérő ismeretes.

A digitális voltmérő lehet:

- pillanatérték-mérő vagy átlagérték-mérő,
- közvetlen átalakítású vagy közvetett átalakítású.

A *pillanatérték-mérők* az időben változó jel pillanatértékét, míg az *átlagérték-mérők* valamely, a jelle jellemző átlagértéket (pl. középértéket) mérnek. A pillanatérték-mérők hibája, hogy zajjelnyomás nincs, a pillanatnyi zajfeszültség algebrailag hozzáadódik a mérendő feszültséghez és a műszer a kettő összegét méri. Átlagérték-mérők esetén a zajfeszültség mérési idő alatti átlaga (mely közel nulla) hamisítja meg az eredményt.

A *közvetlen átalakítók* közvetlenül a feszültséget, a *közvetett átalakítók* a feszültség egy közbelső mennyiségé (pl. frekvenciává) alakított értékét digitálizálják.

Az analóg–digitális átalakítók működése, tulajdonságaik részletes megismerése nem tárgyunk feladata, így most csak a legfontosabb jellemzőiket ismertetjük, melyek a digitális feszültségmérők működésének megismeréséhez elengedhetetlenül szükségesek lesznek.

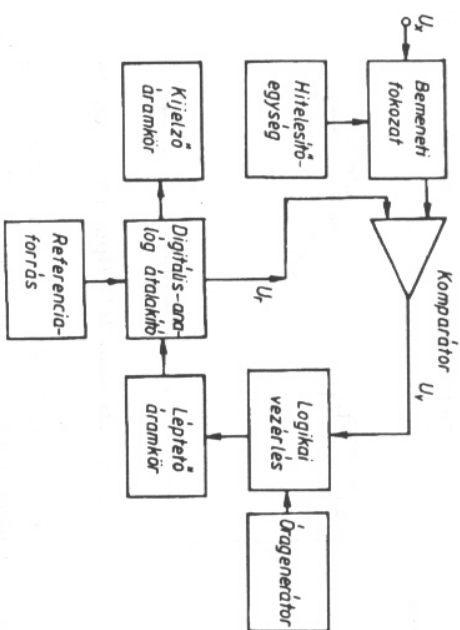
8.3.1. Kompenzáló rendszerű digitális feszültségmérők

A kompenzáló rendszerű átalakító tipikus közvetlen pillanatérték-mérő. Működési elvét takarja az elnevezés: addig változtat egy referenciaértéket (U_{ref}), míg az egyenlő nem lesz a mérendő mennyiséggel (U_x). Tömbvázlata a 62. ábrán látható.

A bemeneti fokozat illeszti a mérőkört a mérendő jelforráshoz. Biztosítja a nagy bemeneti impedanciát, és kívánt mértékben leosztja a mérendő jelet.

A mérendő jel a bemeneti fokozaton keresztül jut az összehasonlító erősítő (komparátor) egyik bemenetére. A komparátor másik bemenetére a digitális-analóg átalakító kimeneti feszültsége kerül, ami a referenciafeszültség valamilyen logikai sorrend szerint változó leosztott értéke. A vezérlő áramkör úgy állítja be a digitális-analóg átalakítót, hogy a komparátor bemenetén a feszültségkülönbség a lehető legkisebb – lehetőleg nulla – legyen. Ez azt jelenti, hogy bemeneti fokozat utáni mérendő jel és a digitális-analóg átalakító kimeneti jele megegyezik egymással. Méréskor, ha a két jel nem egyenlő, a komparátor vezérlőjelet ad a logikai vezérlő áramkörnek, amely ennek hatására bizonyos időközönkénti ütemezéssel megváltoztatja a digitális-analóg átalakító bemenetén levő kódot, ezáltal az előző állapothoz képest más feszültséget kapcsol a komparátor bemenetére. Ez a kiegyenlítési

folymat addig tart, míg a komparátor két bemeneti jele meg nem egyezik egymással.



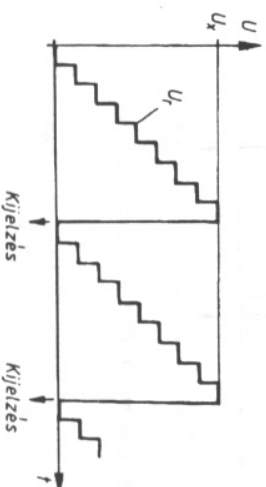
62. ábra. Kompenzáló rendszerű digitális voltmérő

A kijelzőn a kiegyenlített állapotban a digitális-analóg átalakító bemeneti kódjának megfelelő számérték látható.

A kiegyenlítés – azaz a logikai vezérlés – több módszerrel megvalósítható. Az eljárások között lényeges eltérés a kiegyenlítés gyorsaságában van.

a) Számláló típusú kiegyenlítés

A számláló módszer vagy lépcsős kiegyenlítés esetén a digitális-analóg átalakító kimenőjele nulláról indul, és addig nő egyenlő kis lépésekkel, míg el nem éri az U_x értéket (63. ábra).

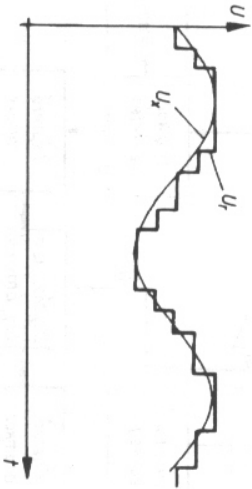


63. ábra. Lépcsős kiegyenlítés

A mérési idő változó, U_x értékének függvénye, így hosszú lehet.

b) Követő számláló típusú kiegyenlítés

A követő számláló típusú kiegyenlítés mérési menete indításakor meg-
egyezik a számláló típusával. Az első kiegyenlítést követően azonban nem
nulláról, hanem az előző értékről indul a digitális-analóg átalakító kimenő-
jelének változása, így folyamatosan követi U_x változását (64. ábra).



64. ábra. Követő számláló típusú kiegyenlítés

A bemenőjel ugrásszerű változásánál, ill. a mérés újraindításakor a mé-
rés idő ugyanolyan hosszú lehet, mint a lépcsős kiegyenlítéskor.

c) Előírt sorrendű kiegyenlítés

Előírt sorrendű kiegyenlítésnél a vezérlő a kiegyenlítést a digitális-analóg
átalakító legnagyobb helyi értékén kezdi, ellentétben az előzőekkel, ahol a
legkisebb helyi értéknek megfelelő analóg feszültségváltozást láttunk (65.
ábra).



65. ábra. Előírt sorrendű kiegyenlítés

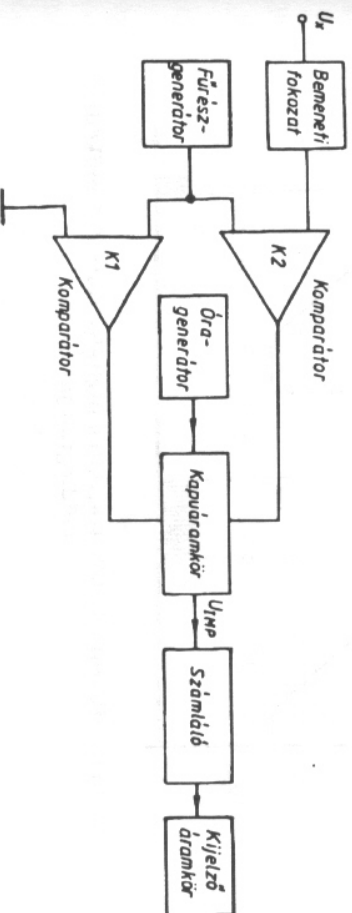
A legnagyobb helyi értéknek megfelelő $U_{max}/2$ feszültséggel való kom-
parálás után kiderül, hogy U_x nagyobb vagy kisebb ennél, azaz szükséges-e
 $U_{max}/2$ nagyságú feszültség vagy sem. A kiegyenlítés a következő, eggyel
kisebb helyi értéken folytatódik. Az előző összehasonlítás eredményéhez
($U_{max}/2$ -höz vagy 0-hoz) hozzáadódik a következő helyi értéknek megfelelő
analóg feszültség $U_{max}/4$. Ismét döntés következik, hogy az újonnan kialakult
feszültségérték meghaladja-e vagy sem U_x értékét.

A kiegyenlítés folyamata az összes helyi értéken lejátszódik, függetlenül
annak eredményétől. A mérési eredmény tehát mindig azonos idő alatt, az
előzőeknél gyorsabban alakul ki.

8.3.2. Feszültség-idő átalakítás digitális voltmérők

A feszültség-idő átalakítás digitális voltmérők közvetett pillanatérték-mérő
műszerek.

Működésük elve, hogy a mérendő feszültséget egy időben lineárisan vál-
tozó feszültséggel (fűrészfeszültséggel) összehasonlítva idővé alakítják át. A
műszer tömbvázlata a 66. ábrán, működésének idődiagramja a 67. ábrán
látható.



66. ábra. Feszültség-idő átalakítás digitális voltmérő

A fűrészfeszültség nullaátmenete és a feszültségazonosság között eltelt
idő a mérendő feszültséggel arányos. Az időmérés elve az impulzusszámlá-
lás. Az óragenerátor által kibocsátott és a komparátorok engedélyező-, ill.
leállítójele között érkező impulzusokat az elektronika számlálja.

Positív feszültség mérésekor a K_1 komparátor a fűrészel nullaátmeneté-
nél engedélyezi az órajelimpulzusok számlálóiába jutását, majd ha a bemeneti
fokozat utáni U_x -szel arányos feszültség egyezik a fűrészzel, a K_2 leállítja
a számlálást.

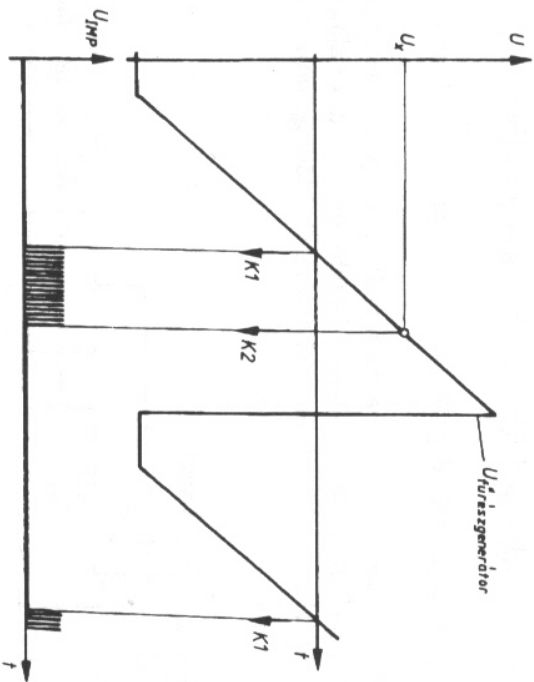
Negatív feszültség mérése esetén a két komparátor szerepe felcserélődik,
az indítást K_2 , a leállítást pedig K_1 végzi. A komparálási sorrend változása
lehetővé teszi az előjel automatikus kijelzését.

A bemeneti egység szerepét a korábbiakban már megismertettük: nagy
bemeneti impedanciát és kívánt mértékű feszültségosztást biztosít.

A számláló a beérkező impulzusokat számlálja, és a belső tárolójában
tárolja a számlálás eredményét.

A kijelző a számláló számtartalmát jeleníti meg.

A műszer pontosságát alapvetően a fűrészenegátor linearitása, az órajel pontossága, és a bemeneti fokozat hibája határozza meg.



67. ábra. Feszültség-Idő átalakító digitális voltmérő működési idődiagramja

8.3.3. Kettős meredekségű digitális feszültségmérő

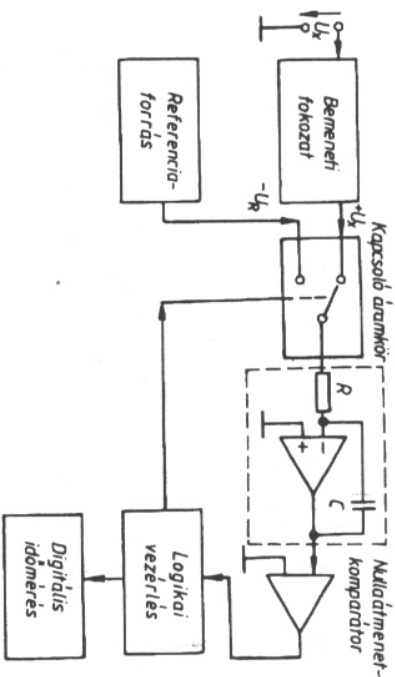
A kettős meredekségű digitális feszültségmérő átlagértékmérő, működési elve integrálással történő feszültség-Idő átalakítás, amely a 68. ábrán látható tömbvázlat, és a 69. ábrán látható idődiagram alapján követhető.

A mérendő U_{x1} feszültség a bemeneti fokozaton keresztül az integrátor bemenetére kerül.

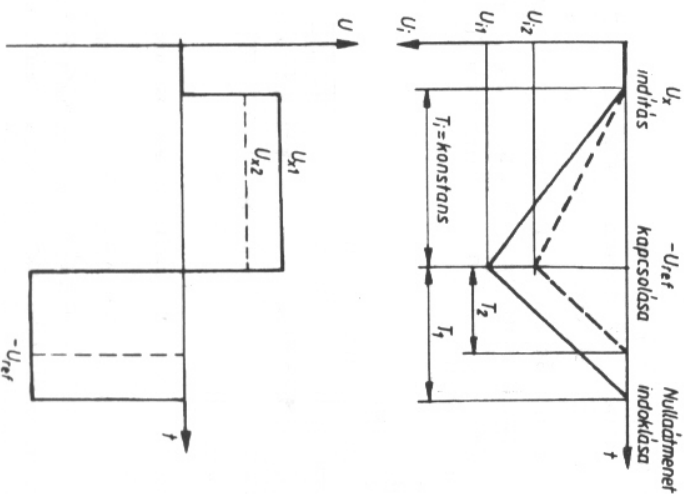
A bemeneti fokozat az előzőekhez hasonlóan a méréshatárváltást, ill. a mérőkör illesztését végzi.

Az ismeretlen feszültséget állandó T_1 ideig integrálja. Ezen idő alatt az integrátor kimenete U_{i1} feszültséget ér el. Az állandó T_1 idő elteltével a vezérlő áramkör az integrátor bemenetére az U_{x1} -gyel ellentétes polaritású, állandó értékű U_{ref} referenciatfeszültséget kapcsol. Ennek hatására az előzővel ellentétes irányú feszültségváltozás indul meg az integrátor kimenetén. Mivel U_{ref} állandó, a visszaintegrálás meredeksége is állandó értékű lesz. Ez a második integrálás addig tart, míg a kimenet feszültsége nulla nem lesz, melyet

a nullaátmenet-komparátor érzékel. A visszaintegrálás ideje (T_2) az állandó meredekség következtében arányos U_{i1} -gyel, az pedig U_{x1} -gyel. Így tehát a visszaintegrálás idejét mérve meghatározhatjuk az ismeretlen feszültséget:



68. ábra. Kettős meredekségű digitális feszültségmérő



69. ábra. Kettős meredekségű digitális feszültségmérő működési idődiagramja

$$U_{x1} = \frac{T_1}{T_1} U_{ref}.$$

Ha más értékű, pl. U_{x2} feszültséget mérünk, és $U_{x1} > U_{x2}$ akkor az integrátor kimeneti feszültsége T_1 elhárítással $U_{1/2}$ lesz, s a visszaintegrálás T_2 ideig tart.

A digitális időmérő a feszültség-idő átalakító voltmérőnél megismert impulzusszámolással működik. A kijelzett érték a mérendő feszültség értékének felel meg. Mivel

$$U_x = \frac{T_x}{T} U_{ref},$$

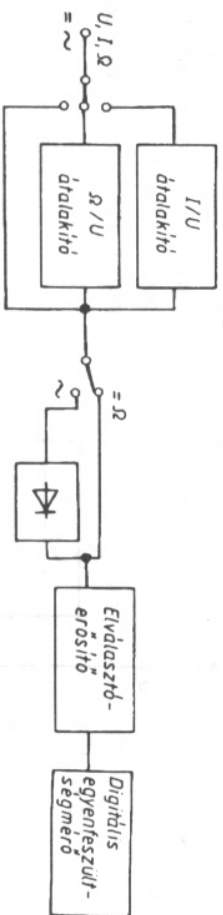
ezért a mérés pontosságát nem befolyásolja az órajel-generátor pontossága. Nincs szükség nagy pontosságú, csak állandó frekvenciájú órajelre, mert csak a két idő (melyet ugyanazzal az órajellel mérünk) hányadosa szerepel az összefüggésben.

A mérés pontosságát elsődlegesen a referencia-feszültség határozza meg.

8.4. Digitális multiméterek

Csak egyenfeszültséget mérő digitális mérőműszert ritkán, különleges igényeknek megfelelően készítenek. A korszerű digitális multiméterek egyen- és váltakozó feszültséget, ellenállást és általában egyen- és váltakozó áramot is mérnek. A nagy pontosságú multiméterekhez az áramot mérő precíziós szötkészletet külön tartozékként adják, és a felhasználónak kell bekötnie.

Egy digitális multiméter általános tömbvázlata a 70. ábrán látható.



70. ábra. Digitális multiméter általános tömbvázlata

A multiméter két részből áll. Az elválasztóerősítőt követően digitális egyenfeszültség-mérőt találunk, míg előtte az egyes mérési feladatoknak megfelelő átalakítók vannak. Az elválasztóerősítő gyakorta egy egységet alkot más funkcionális részzel (pl. az egyenirányítóval).

A multiméter váltakozó mennyiségek mérésére az egyenirányító, ellenállásmérésre pedig az ellenállás-egyenfeszültség átalakító teszi alkalmassá.

8.5. A digitális multiméterek jellemzői

A digitális multiméterek legfontosabb jellemzői a következők:

a) Megjelenthető számjegyek száma

A műszer kijelzőjén a megjeleníthető számjegyek száma az egyéb tulajdonságokkal (pl. pontosság, felbontás) szoros összefüggésben áll.

Szokásos érték a $3\ 1/2 \dots 6\ 1/2$ számjegyes (digitális) kijelzés. A $1/2$ digit azt jelenti, hogy az első (legnagyobb) helyiértéken csak értéktelen nulla vagy az 1-es számjegy állhat.

b) Mérési tartományok

A mérési tartomány az egyes mennyiségek mérésénél a legkisebb és a legnagyobb kijelmezhető számhoz tartozó értékek közötti intervallum.

Szokásos értékei pl. feszültségméréskor $3\ 1/2$ számjegyes kijelzőre:

- 199,9 mV ... + 199,9 mV (± 200 mV)
- 1,999 V ... + 1,999 V ($\pm 2,000$ V)
- 19,99 V ... + 19,99 V ($\pm 20,00$ V)
- 199,9 V ... + 199,9 V ($\pm 200,0$ V)

c) Felbontás

A felbontás az adott beállítás mérési tartományához tartozó összes kvantumszám reciproká. Általában százalékban adják meg.

Például, ha egy $3\ 1/2$ számjegyes kijelző esetén a műszer a teljes tartományt 1000 részre osztja, akkor a felbontás 0,1 %.

d) Pontosság

A pontosság a mérési hibát adja meg, amelyből a tényleges körülmények ismeretében a mérés hibája számítható. A mérési hiba több tényezőből tevődik össze. Magába foglalja a zaj- és ofszethibát, a kvantálás hibáját, valamint a számlálás és a kijelzés hibáját. Közülük némely a mért értéktől, másik a mérésártól, ill. a kijelzett számtól függ, így a mérés hibája minden mérési tartományban más. Például a következő lehet:

- $h = \pm 0,5\%$ mért értékre,
- $\pm 0,5\%$ mérésártárra vonatkoztatva,
- ± 1 digit.

e) Bemeneti impedancia

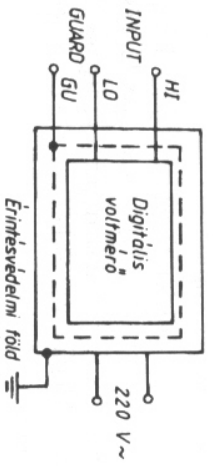
A bemeneti impedanciaként általában a bemenet soros ohmos ellenállásának értékét adják meg.

f) Bemenetek lebegő (floating) kialakítása

Számos digitális műszeren a műszer bekötésére három csatlakozópont van (71. ábra).

A megoldás előnye, hogy a műszer bemenetei (HI, LO) függetlenek a földvezetékétől. Így elkerülhető a földvezetéken folyó zavaráram okozta mérési

hiba, valamint azt az előnyt is élvezhetjük, hogy műszerünket pl. voltmérőként két bármilyen potenciálú pont közé köthetjük.



71. ábra. Digitális műszer bemenetének lebegő kialakítása

8.6. Digitális frekvencia- és időmérők

A frekvencia mérése a legtipikusabb és a legpontosabbban megvalósítható digitális mérési feladat. Frekvenciamérőkor ugyanis a mérendő jel periódusainak számát kell egy időegység alatt megszámlálni. A számlálás eredménye annál pontosabb lesz, minél több a megszámlálandó impulzus, azaz a periódusok időtartama a számlálás idejéhez viszonyítva minél kisebb.

Méréskor egy hiteles időalap által engedélyezett ideig a mérendő jel impulzusokká alakított sorozatát számlálhatóba engedjük, azaz az adott időtartam alatti impulzusokat megszámláljuk. Tehát két jel (a mérendő jel és az órajel) frekvenciáját hasonlítjuk össze: azt mérjük, hogy az órajel meghatározott számú periódusára a mérendő jel hány periódusa esik.

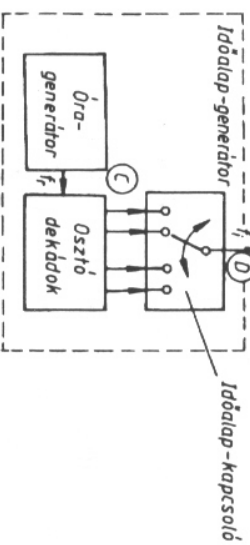
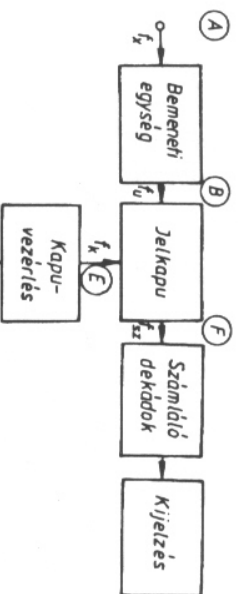
A két jel felcserélésével, ill. célszerű átkapcsolásával a műszer nem csak frekvenciamérésre, hanem periódusidő és időtartam mérésére is alkalmazható.

8.6.1. Frekvenciamérés

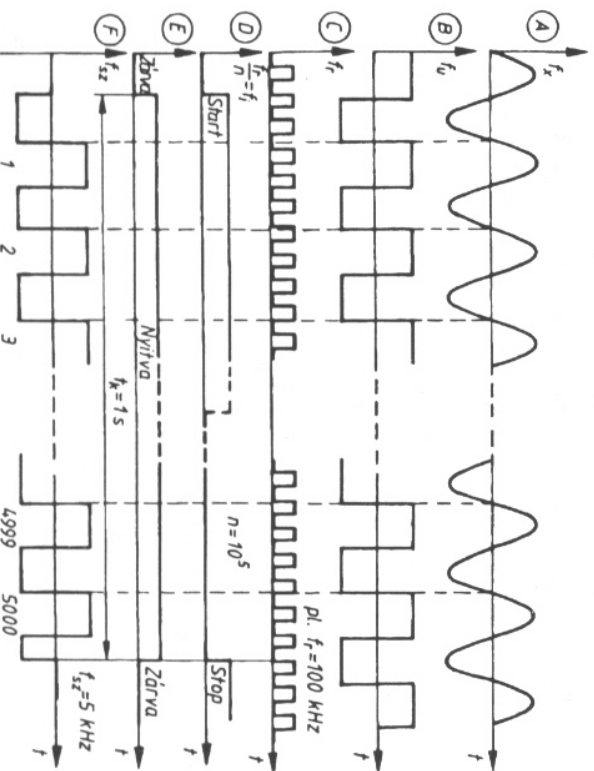
Frekvenciamérőkor a műszer a már ismertetett impulzusszámláló üzemmódban működik. A mérés elve a 72. ábrán, a működés jellemző jelalakjai a 73. ábrán láthatók.

A számláló meghatározott időtartam (t_k kapuidő) alatt leszámolja az ismeretlen f_x frekvenciájú jel periódusainak számát. Ezen idő alatt a jelek számlálóba jutását a jelkapu engedélyezi, amelyet a hiteles időalap-generátor leosztott frekvenciája alapján a kapuvezérlő áramkör vezérel. Az órajel frekvenciájának leosztására a mérési idő kétféle módon nagyrá való választása miatt van

szükség, hiszen az órajel frekvenciája pl. 100 kHz, kapuidőnek viszont 0,1 s, 1 s vagy 10 s értéket célszerű választani.



72. ábra. Digitális frekvenciamérő



73. ábra. Digitális frekvenciamérő jelalakjai

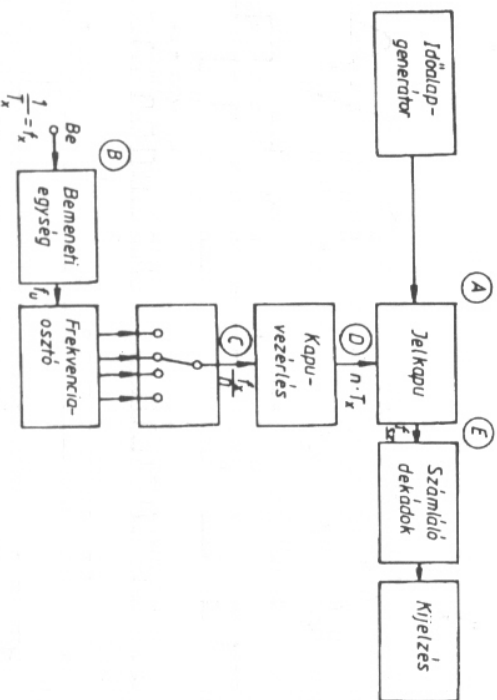
A kijelzett szám : $N = tk f_x$,

ami 1 s-os kapuidőnél éppen a frekvencia Hz-ben, 0,1 s, ill. 10 s kapuidőnél pedig a tízedespont megfelelő elhelyezésével kapjuk az eredményt.

A mérés pontosságát a referenciaforrás hibája és a számlálási hiba befolyásolja. Az órajel stabilitása a mérési idő alatt $10^{-4} \dots 10^{-5} \%$, a számlálási hiba attól függ, hogy a mérés kezdeti, ill. végző időpillanatának impulzusai bekerülnek-e a számlálóba vagy sem. Ez utóbbi ± 1 számjegyváltozást okozhat a kijelzett szám legkisebb helyi értékén, így ennek hatása annál jelentősebb, minél kisebb a mért frekvencia.

8.6.2. Periódusidő-mérés

Periódusidő-mérés tüzemmmódban annyi a különbség a frekvenciaméréshez képest, hogy a mérendő jel és az időalap-generátor jele felcserélődik. A számláló a hiteles f_c frekvenciájú órajel azon periódusait számlálja, amelyek az f_x frekvenciájú jel n periódusa alatt érkeznek bemenetére. A mérés tömbvázlata a 74. ábrán, jellemző jelalakjai a 75. ábrán láthatók.

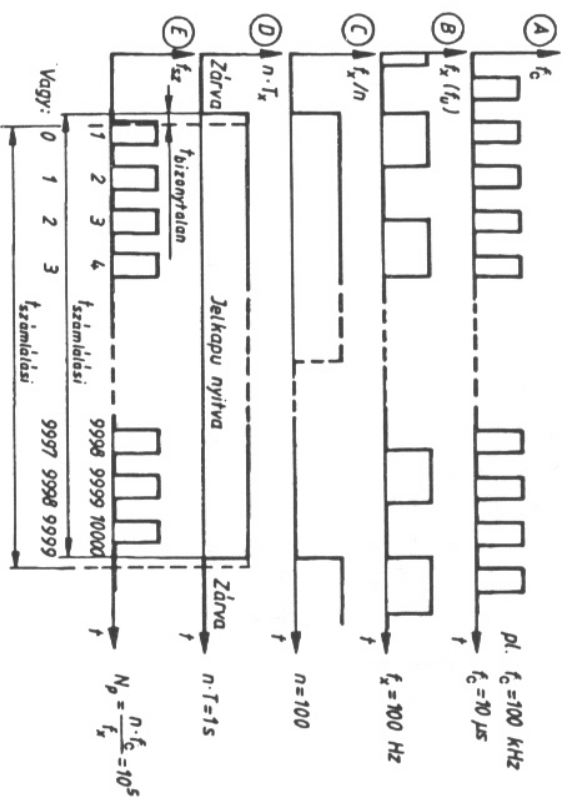


74. ábra. Periódusidő-mérés tömbvázlata

A jelkapu nyitását, ill. zárását most a kapuvezérlő áramkörön keresztül a jelformált és leosztott (f_x/n) mérendő jel végzi. A mérendő jel leosztása (a frekvenciaméréshez hasonlóan) a mérési idő növelése érdekében szükséges.

A kijelzés periódusidő-egységben történik, a kijelzett szám:
lálási hiba határozza meg.

$$N = n f_c t_k = \frac{n f_c}{f_x}$$



75. ábra. Periódusidő-mérés jellemző jelalakjai

8.6.3. Időtartammérés

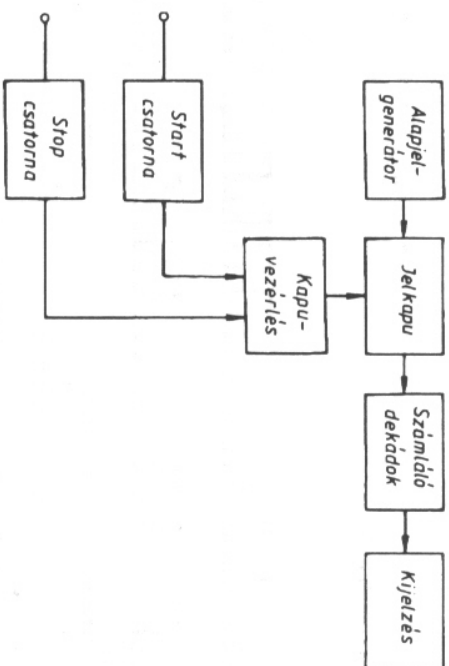
Az előzőekben tárgyalt periódusidő-mérés az időtartammérés egy különleges esete. Ha a megismert periódusidő-mérőt olyan kapuvezérlő áramkörökkel egészítjük ki, amelyek képesek a bemeneti jelek hatására a jelkaput engedélyezni, ill. tiltani, akkor a műszer az e jelek közt elelt időben számlálja az időalap-generátor periódusainak számát. A mérés tömbvázlata a 76. ábrán látható.

A START csatorna jelével engedélyezzük a jelkaput. Erre jelet adva megindul a számlálás, amit a STOP csatorna jele állít le.

Ha mindkét bemenetre ugyanazt a jelet kötjük, akkor a jel egy periódusának idejét, azaz a periódusidőt mérjük.

Célserű azt a választási lehetőséget is biztosítani, hogy az indítójelek pozitív vagy negatív meredekségű változására adjuk ki a vezérlőjelet. Ezzel

a műszer használati lehetőségét tovább bővítjük, mert így egy jel felfutó és lefutó éle közötti idő, azaz az impulzusszélesség is mérhető.



76. ábra. Időtartammérés tömbvázlata

9. Oszcilloszkópok

Az oszcilloszkóp a méréstechnika talán legszélesebb körben használt műszere. Lehetővé teszi, hogy villamos jeleket képszerűen is tudjunk vizsgálni. Erre akkor van szükség, amikor a vizsgálandó jelenség nem szinuszos jellegű, így számunkra nem csak valamely átlagértékének, hanem pillanatnyi változásának ismerete is szükséges. Az esetek döntő többségében a villamos jelek (vagy villamos jelle alakított nem villamos mennyiségek) időbeni változását vizsgáljuk oszcilloszkóppal. Lehetőség van azonban arra is, hogy a független változó az idő helyett egy másik jel legyen.

Az oszcilloszkóp jelentőségét kiemelve mondhatjuk, hogy érdembeli vizsgálatot, ill. mérést nem végezhetünk nélküle.

A következőkben az oszcilloszkóp főbb egységeit, főbb működési módjait, használatának lehetőségeit vizsgáljuk.

9.1. Az oszcilloszkóp megjelenítőegysége

Napjainkig az oszcilloszkóp megjelenítőegysége a katódsugárcső volt. A közelemben találkozhattunk először folyadékkristályos kijelzővel készült oszcilloszkópokkal, amelyek a hagyományos oszcilloszkópfunkciókon túl, más villamos mérési feladatok elvégzésére is alkalmasak lettek. A katódsugárcső azonban ma is az oszcilloszkópok alapvető építőeleme, tulajdonságaik egyik meghatározója.

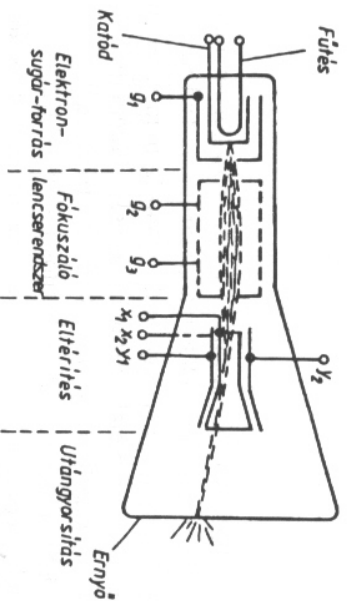
A katódsugárcsővel tudjuk láthatóvá tenni a vizsgálandó jelet. Szerkezetének vázlata a 77. ábrán látható.

Működésének alapja, hogy a fűtött katódból kilépő elektronok a pozitív feszültségű anód vonzásának hatására az anód felé haladnak. A fókuszáló-rendszerben fókuszált elektronnyaláb az eltérítő lemezek között áthaladva, azok feszültségétől függően, elhajlik a geometriai középvonaltól, és az ernyő falán levő fénypor rétegre csapódik. A becsapódás hatására ez a réteg fényt bocsát ki, mely a képernyőn látható.

Az ábrán *g₁*-gyel jelölt elektróda (Wehnelt-henger) a katódhoz képest negatív nagyfeszültségű. Feszültségének változtatásával a becsapódáskor ke-

lekező fénysugár intenzitását, azaz a fényerőt lehet szabályozni (INTENSITY).

A g_2 és a g_3 a katódhoz képest pozitívak. A g_2 -vel az elektronsugár fókuszálható (FOCUS), g_3 -mal biztosítható, hogy a képpont élessége az ernyő egész felületén állandó maradjon (ASTIGMATISMUS).



77. ábra. Katódugárcső szerkezeti felépítése

A szabályozószervek kezelőgombjai az oszcilloszkóp előlapján található, feliratukat a funkciójuknál, zárójelben olvashatjuk.

Korszerű katódugárcsővekben az érzékenység növelésére és a hosszúság csökkentésére hálólelektrodát, valamint utángyorsítót is alkalmaznak. Így az egyébként egymásnak ellentmondó két tulajdonság, az érzékenység és a határfrekvencia egyaránt javítható az 5...10 V/cm, ill. a 200...500 MHz értékig. Az ernyő a fénynyereség és a hűtőhatás érdekében alumínizált, a képernyő formája szögletes.

Az elektronika fejlődésének eredményeképp megjelentek a katódugárcső nélküli, folyadékkristályos képernyőjű oszcilloszkópok is. A kijelző adta gazdaság lehetőségeket kihasználva ezek a készülékek több információt jelenítenek meg, mint hagyományos elődeik. A kijelző meghajtásáról, ill. működtetéséről igen bonyolult elektronika gondoskodik.

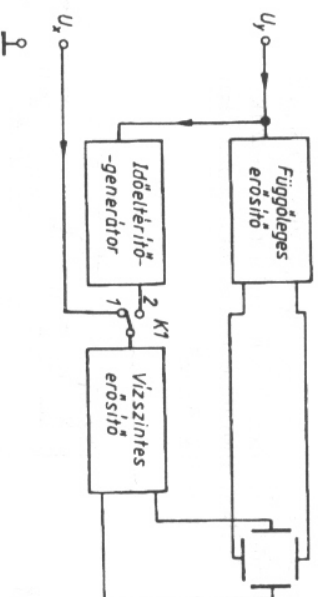
E műszereknek az oszcilloszkópfunkción túl általában digitális multi-méter-funkciójuk is van.

9.2. Az oszcilloszkóp működésének alapja

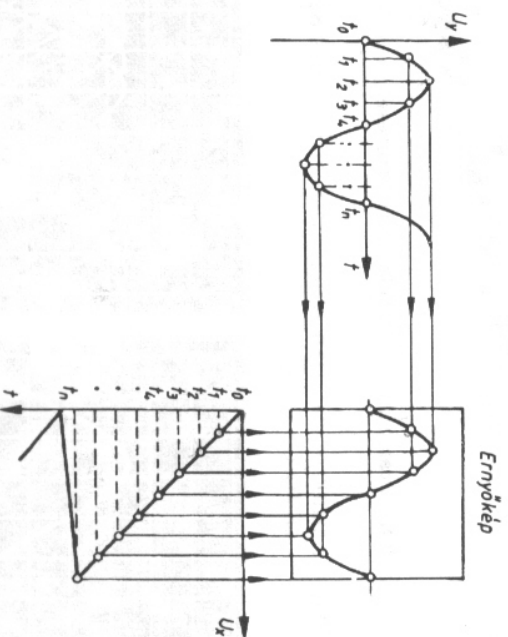
Egyszerű oszcilloszkóp tömbvázlata a 78. ábrán található.

A katódugárcső függőleges elérését a függőleges erősítő, vízszintes elérését a vízszintes erősítő biztosítja. Ha a K_1 kapcsoló 1 állásban van, akkor a vízszintes bemenetre az U_x feszültség kapcsolódik, és az $U_y = f(U_x)$

függvény jelenik meg a képernyőn. A K_1 2 állásában az időeltérítő generátor jele kerül a vízszintes erősítőre. Ez változtatható meredekségű, időben lineárisan növekvő feszültség, amelynek hatására a képpont a képernyő bal szélétől a jobb széle felé halad. A függőleges erősítőre kapcsolva U_y -t, idővel arányos függvényt, az $U_y = f(t)$ függvényt láthatjuk (79. ábra).



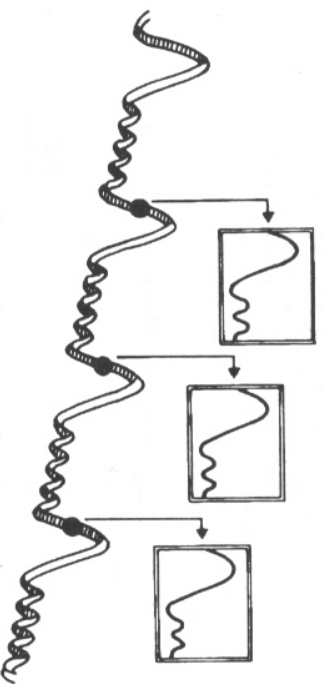
78. ábra. Egyszerű oszcilloszkóp tömbvázlata



79. ábra. Ernyőkép kialakulása

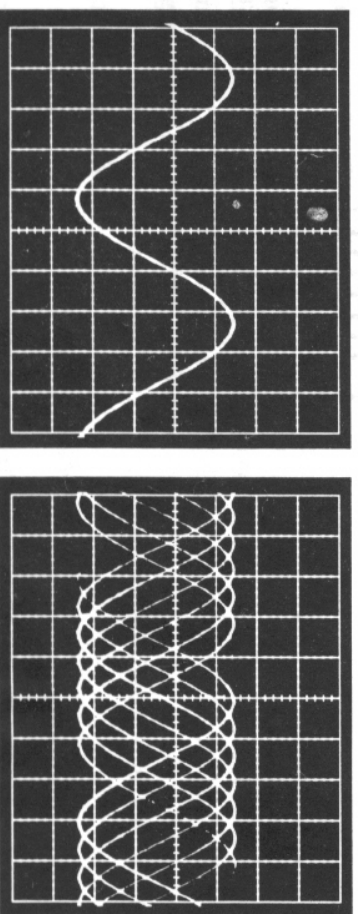
Az időeltérítő generátor jelamplitúdója akkora, hogy hatására a fény-pont a képernyő egyik szélétől a másik széléig halad. A jelamplitúdó elérve maximumát igen rövid idő alatt minimumra csökken. A visszafutás idejében a fénysugarat kioltják, hogy a visszafutás vízszintes vonalát ne lássuk. Az eltérítőjelet jellegzetes alakja miatt fűrészelnek, az ezt előállító időeltérítő generátort fűrészgenerátornak nevezik.

Az oszcilloszkóp képernyőjén akkor látunk jól kiértékelhető álló ábrát, ha a fűtésgenerátor mindig a vizsgált jel azonos fázisában indul. Ekkor az egy-egy periódushoz tartozó ábrák egymásra rajzolódnak, a fényugár mindig ugyanazt az utat járja be a képernyőn (80. ábra). Ez úgy érhető el, hogy a fűtésgenerátor periódusideje egész számú többszöröse a vizsgált jel periódusidejének, azaz az időeltérítő generátort a vizsgált jelhez szinkronizáljuk. Ezt az állapotot szinkronizált állapotnak, a vizsgált jel ehhez tartozó szintjét szinkronizálási szintnek (TRIGGER LEVEL) nevezzük. Ha ezt nem tesszük (azaz szinkronizálatlan állapotban) a jel mindig más és más amplitúdóértékeknel kezdődve látszik a képernyőn.



80. ábra. Szinkronizálás szemléltetése

Szinkronizált és szinkronizálatlan szinuszos jelet látunk a 81a) és b) ábrán.



81. ábra. Ernyőkép a) szinkronizált; b) szinkronizálatlan

Szinkronizálni nem csak a vizsgált jellel lehet, hanem másképpen is, amelyre a későbbiek során kitérünk.

9.3. Az oszcilloszkópok felépítése

Gyakran előforduló méréstechnikai probléma, hogy két vagy több jelet egyidejűleg akarunk vizsgálni, ill. összehasonlítani. Ennek megvalósítása csak akkor lehetséges, ha két- vagy többsugaras, ill. elektronkapcsolóval többsugarasított oszcilloszkópunk van.

9.3.1. Kétsugaras oszcilloszkóp

A kétsugaras vagy ritkán többsugaras oszcilloszkóp működésének lényege, hogy az adott feladat a katódsugárcsővel oldható meg. Ezeket a készülékeket valódi kétsugaras (DUAL BEAM, kétsugaras) oszcilloszkópnak nevezik.

A kétsugaras katódsugárcsővel két egy sugaras rendszer egy burába építésével készítik. Az elektronsugarakat egymástól függetlenül, külön-külön kell eléríteni. Ezért két függőleges eltérítőszerre van szükség.

Az oszcilloszkóp két függőleges erősítője és az ehhez kapcsolódó többi funkcionális egység megegyezik, azonos érzékenységgel, impedanciájuk, fázismenetük. Lényegében tehát két egy sugaras oszcilloszkóp egyesítéséről van szó oly módon, hogy a vízszintes csatorna, a szinkronjelrendszer és a tápegységek közösek.

Ezek a berendezések a bonyolult és drága katódsugárcső miatt drágák.

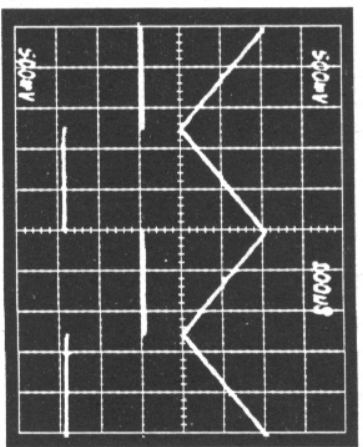
9.3.2. Elektronkapcsolóval többsugarasított oszcilloszkóp

Az elektronkapcsoló lehetővé teszi, hogy egy sugárral egyidejűleg két vagy több jelet vizsgáljunk. Működése azon alapszik, hogy az emberi szem tehetetlenségét kihasználva az elektronkapcsoló felváltva kapcsolja a vizsgált jeleket az oszcilloszkóp függőleges erősítőjére. Így valójában a jelek soha nincsenek egyszerre a képernyőn, de mivel az emberi szem nem képes követni a gyors változást, így több jelet látunk egyszerre.

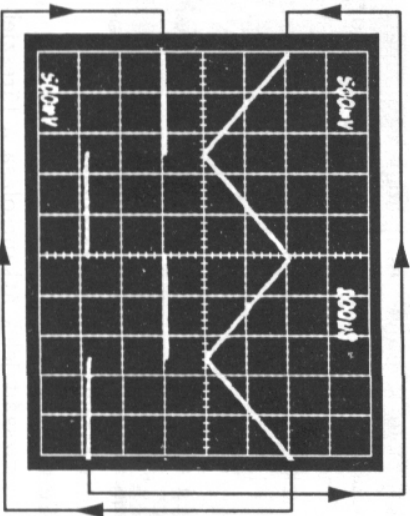
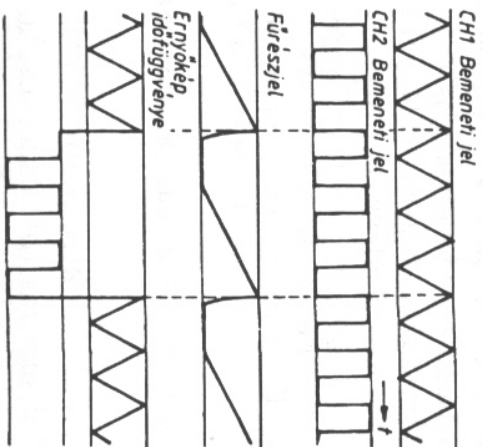
A későbbiek során az elektronkapcsolóval kétsugarasított oszcilloszkóppal (DUAL TRACE) ismerkedünk meg, az eljárás azonban nem csak kétsugarasításra, hanem többsugarasításra is alkalmas. Számos elektronkapcsolóval négy sugarasított oszcilloszkóppal találkozhatunk.

A jelek kétféle módszerrel kapcsolhatók át.

Az egyikben a vizsgált jelek átkapcsolása a fűrészel visszafutása alatti követhetők be, így a jelek egymás után, a fűrészel egy-egy periódusában váltakozva rajzolódnak a képernyőre (82. ábra).



82. ábra. Váltakozó üzemmód



83. ábra. Váltakozó üzemmód fáziseltérése

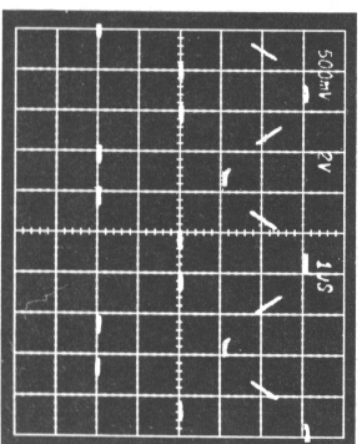
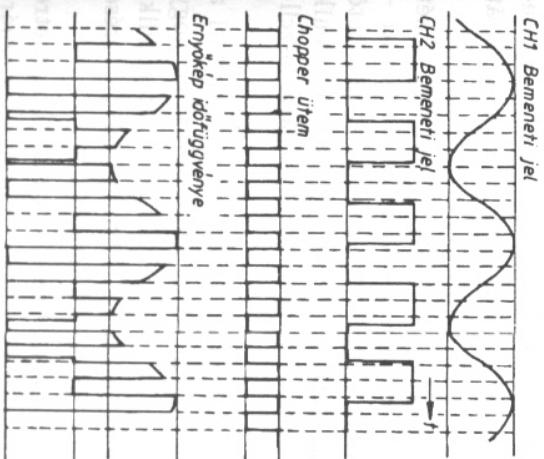
Ez az ún. váltakozó (ALTERNATED) üzemmód. A megoldás nagyfrekvenciás jelek vizsgálatához célszerű, hiszen kisfrekvenciás jeleknél előfordulhatna, hogy lényeges információ vesz el az egyik csatorna jeleből, míg az elektronsugár a másik csatornát rajzolja. Hátránya, hogy a képernyőn egyútt látott jelek nincsenek fázisban, köztük egy fűrészgenerátor-periodusidőnyi eltérés van (83. ábra).

A másik megoldás esetén a jelek közti átkapcsolást a fűrészjeltől függetlenül, igen rövid periódusidővel végzi az elektronkapcsoló. Ekkor szaggatott ábrát kapunk (amelyet természetesen folytonosnak látunk), hol az egyik, hol a másik jel rajzolódik a képernyőre (84. ábra).

Ez az ún. szaggatott (CHOPPED) üzemmód. Az eljárást főként kisfrekvenciás jelek méréséhez alkalmazhatjuk, hiszen az előbbi üzemmóddhoz hasonlóan az egyik sugár rajzolása közben a másiktól kimarad egy rész, és ez a hiányzó jel nagyfrekvencián fontos információt tartalmazhat.

A jelek közti átkapcsolás idejére – mely igen rövid és oszcilloszkóponként meghatározott idő – a sugarat természetesen kioltják.

Az elektronkapcsoló tehát lehetővé teszi, hogy egy sugáron két, esetleg több jelet vizsgáljunk. Az oszcilloszkóp árái nem emeli számottevően, mégis a felhasználó számára sokoldalúbb alkalmazást tesz lehetővé. Elterjedt, valamint korszerű oszcilloszkópnál megtalálható megoldás.



84. ábra. Szaggatott üzemmód

9.3.3. Korszerű oszcilloszkópok

Az oszcilloszkóp a legbonyolultabb műszerek egyike. Eredményes használatahoz a kezelőszerkezet hatását, ill. egymásra hatását kell ismerni. Elektronkapcsolóval kétsugarasított oszcilloszkóp tömbvázlatán mutatjuk be az egyes egységeket és a hozzájuk tartozó kezelőszerkezeteket (85. ábra). A tömbvázlat felső részén találjuk a függőleges, alsó részén a vízszintes csatornát.

A függőleges csatorna két bemeneti jel fogadására alkalmas (CH1, CH2). A K₁ kapcsoló teszi lehetővé, hogy a bemeneti jel mind egyen-, mind váltakozó feszültségű komponensét vizsgálhatjuk. Az AC állásban a bemeneti jel kondenzátoron keresztül jut az erősítő bemenetére. A kondenzátor az egyenfeszültségű összetevőt leválasztja, így csak a váltakozó komponens vizsgálható. A kapcsoló DC állásban a teljes jel az erősítőre kerül, így egyútt vizsgálhatjuk az egyen- és váltakozó összetevőt. A GND állásban a kapcsoló az erősítő bemenetét a testpotenciálhoz köti úgy, hogy közben a mérendő objektum kimenete nem záródik rövidre.

A bemeneti osztó szerepe kettős: biztosítja a bemeneti jel szükséges mértékű alakmű leosztását, és az oszcilloszkóp bemeneti impedanciájának állandóságát. A bemeneti impedancia szokásos értéke mind a függőleges mind a vízszintes bemenetek esetén $1\text{ M}\Omega \parallel (20 \dots 40\text{ pF})$. Ez nagyimpedanciájú mérőfej használatával $10\text{ M}\Omega \parallel (5 \dots 10\text{ pF})$ -re növelhető.

Az előerősítő biztosítja a folyamatosan állítható erősítést ill. a bemenet kalibrálását (CAL), valamint az ábra függőleges helyzetének állítását (VERT. POSITION).

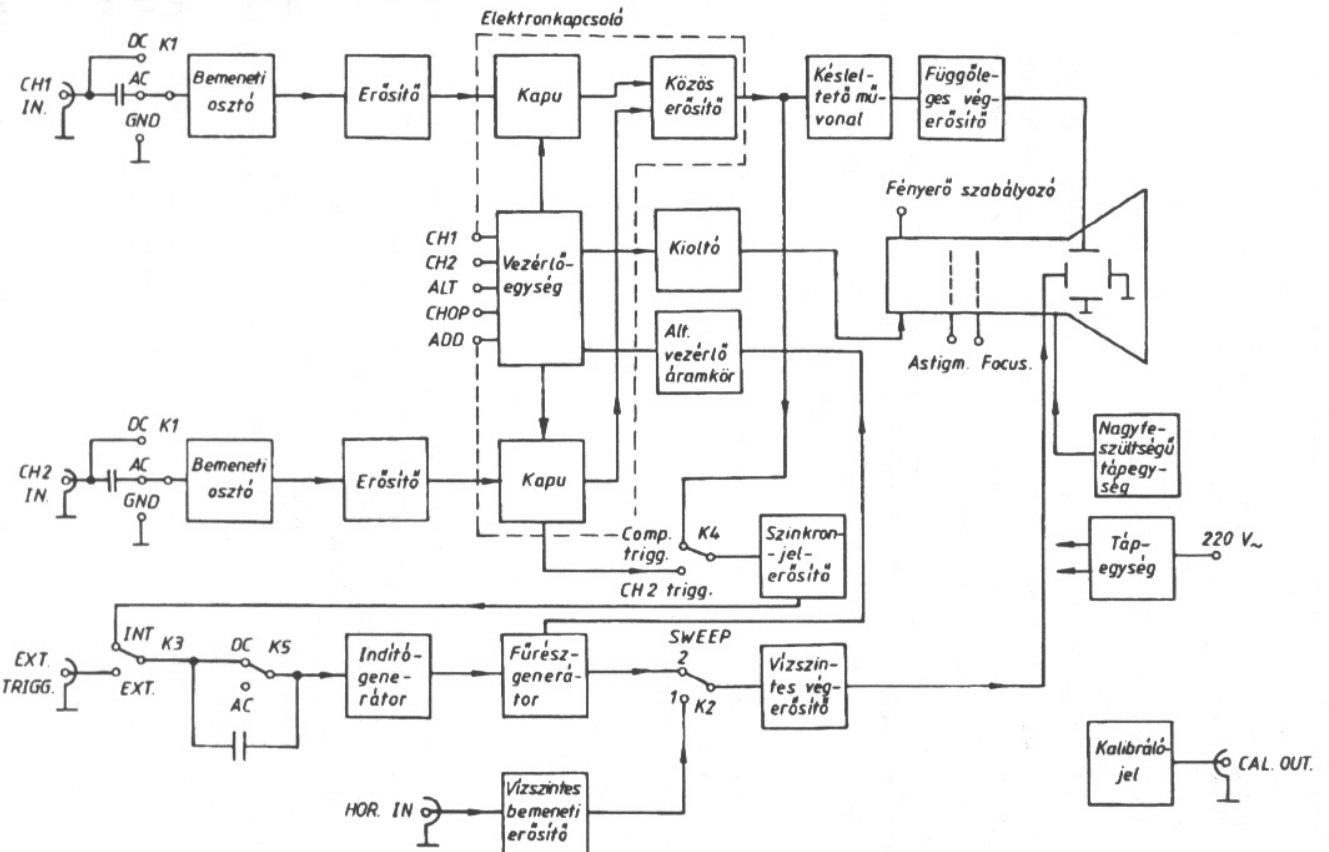
Az elektronkapcsoló a már ismert módon változtatja kimenetén a két előerősítő jelét. A két alapüzemmodon (váltakozó – ALT. és szaggatott – CHOP.) kívül képes a két csatorna jelének összegét kapcsolni a késleltető művonalra. Így ebben az üzemmódban (ADDED) a két jel összege jelenik meg a képernyőn. Természetesen a készülék használható egysugaras oszcilloszkópként mind a két bemenettel.

A késleltető művonal a függőleges lemezpár felé futó jelet késlelteti a fűrészel indításához képest. Ha ez nem lenne, akkor előfordulhatna, hogy a vizsgált jel elejét nem látnánk. Ez a hiba a fűrészel késése miatt adódik, hiszen a fűrészegenerátort a vizsgált jellel indítva a működési idő eltérése miatt a jelek lemezpárra érkezésénél időközönbbség keletkezik.

A vízszintes csatornán a K₂ kapcsoló I állásban a vízszintes bemenetre (HOR. IN) adott jel kerül a függőleges csatornához hasonló úton a lemezpárra. Ekkor az $U_y = f(U_x)$ függvény jelenik meg a képernyőn.

K₂ kapcsoló II állásban a fűrészegenerátor idővel arányos feszültsége kerül a vízszintes erősítőre, így az $U_y = f(t)$ függvényt láthatjuk.

A fűrészegenerátor indítójelének kiválasztására több lehetőség kínálkozik.



85. ábra. Elektronkapcsolóval kétsugarasított oszcilloszkóp

Szinkronizálni belső (INT) vagy külső (EXT) jellel lehet. Ennek kijelölésére a K3 kapcsoló szolgál.

Az indítójelet K4 állásától függően vehetjük a közös erősítő utáni pontról vagy a második függőleges csatorna (CH2) jeléből.

Valamennyi szinkronjel csatolása egyen- (DC) vagy váltakozó feszültségű (AC) lehet. A csatolás kiválasztása a K5 kapcsolóval lehetséges. AC állásban a szinkronjelet egy kondenzátoron keresztül csatoljuk, mely az egyenfeszültségű összetevőt leválasztja. Így a fűrészgenerátor a kiválasztott szinkronjel váltakozó feszültségű összetevőjének meghatározott amplitúdóján indul.

DC állásban közvetlen csatolásban jut az indítójelet az indítógenerátorra, így a jel megfelelő szintjén indul a fűrészgenerátor.

Az indítógenerátoron kiválaszthatjuk, hogy a szinkronjel pozitív vagy negatív élére indítsunk (+/-), valamint az indítási szintet is meghatározhatjuk (TRIGG. LEVEL). (Ezek a kezelőszervek a tömbvázlaton nem láthatók.)

A függőleges és vízszintes végerősítő a katódsugárcső meghajtását biztosítja.

A kalibrálójelet előállító egység az oszcilloszkóp paraméterei közt meghatározott amplitúdójú és frekvenciájú négyzög hullám ellenőrző jelet szolgáltat a felhasználó számára.

A tápegység a műszer zavartalan működéséhez szükséges belső tápfeszültséget állítja elő.

9.4. Az oszcilloszkópok jellemzői

Az oszcilloszkóp számtalan olyan egységet tartalmaz, melyek alapvetően meghatározzák műszaki paramétereit. Ebben az alfejezetben a készülék egészét érintő legfontosabb jellemzőkkel ismerkedhetünk meg.

a) Sávszélesség

A sávszélesség az adott csillapításhoz tartozó alsó és felső határfrekvenciák közötti frekvenciatartomány, amelyben a jel alakhi vizsgálata végezhető. A szokásos csillapításérték -3 dB.

Korszerű oszcilloszkópok alsó határfrekvenciája 0 Hz, azaz egyenfeszültségű szintek átvitelére is alkalmasak. A felső határfrekvencia $60 \dots 100$ MHz, mely érték különleges megoldásokkal $1 \dots 5$ GHz-ig növelhető (1. a mintavető oszcilloszkópokat).

b) Érzékenység

Az oszcilloszkóp képernyőjén 1 osztásnyi (1 DIV) sugáreltérés létrehozásához szükséges feszültség az érzékenység. Mértékegysége V/DIV, ill. centiméterhálós beosztásnál V/cm (ez a leggyakoribb beosztás).

Az érzékenység értéke eltérő lehet a függőleges és a vízszintes eltérítőrendszerre, így azt külön adják meg. Általában a függőleges érzékenység jobb, mint a vízszintes érzékenység.

A függőleges érzékenység szokásos alsó értéke 1 mV/cm és 20 mV/cm között van, felső legnagyobb értéke 100 V/cm.

A sávszélesség és az érzékenység egymással ellentétesek. Nagyobb sávszélességű oszcilloszkópok érzékeltlenebbek, míg az érzékenyebb készülékek sávszélessége kisebb. Igényesebb oszcilloszkópokat cserélhető egységekkel teszünk univerzálisra: megváltárolható hozzá a nagy sávszélességű, kis érzékenységű és kis sávszélességű, nagy érzékenységű függőleges erősítő.

c) Bemeneti impedancia

A bemeneti impedancia szinte minden oszcilloszkóp függőleges és a vízszintes bemenetére egyaránt 1 M Ω \parallel (20 ... 40 pF). Ez az érték nagyimpedancia mérőfej alkalmazásával 10 M Ω \parallel (5 ... 10 pF)-ra növelhető.

d) Időeltérés sebessége

Az időeltérés sebessége azt jelenti, hogy egy osztásnyi jelet mennyi idő alatt ír le a fénysugár. Értéke 10 ns/cm-től 50 s/cm-ig terjed.

e) Indítási módok

A műszaki adatok közötti azon információ, hogy a fűrészgenerátor indítójelet honnan választhatjuk, „mire tudunk szinkronizálni”.

A szinkronizálás lehet a szinkronjel forrása szerint:

- belső szinkronizálás, mikor a vizsgálendő jel indítja a fűrészelet,
- külső szinkronizálás, mikor egy külső jelforrásról indítjuk a fűrészelet egy külön e célra szolgáló bemeneten keresztül,
- hálózati szinkronizálás, melynél a hálózati feszültséggel indítunk.

Mindegyik szinkronjelforrásnál lényeges, hogy a fűrészelet csak akkor indul, ha az indítójelet szintje elér egy adott feszültségértéket. Ezt az értéket általában a képernyő függőleges méretének megfelelően (és nem az érzékenységnek megfelelően) potenciométerrel (TRIGG LEVEL) tudjuk állítani.

A szinkronizálás módja szerint a szinkronizálás lehet:

- automatikus indítású (AUTO), melynél ha az indítógenerátor nem jut megfelelő bemenőjelet, akkor a fűrészgenerátor szabadonfutó üzemmódba kapcsol. Ilyenkor minden lefutás elindít egy újabb fűrészelet,
- normál üzemmód (NORM), melynél a fűrészgenerátor minden egyes lefutása a szinkronjelforrás által indított,
- egyszeri lefutású (SINGLE), mikor a fűrészgenerátor egy indítógomb benyomására egyetlen fűrészeletet ad, így az elektronsugár egyszer fut végig a képernyőn.

Azt is megválaszthatjuk, hogy az indítójel pozitív meredekségű emelkedési szakaszán vagy a negatív meredekségű esési szakaszán kívánjuk a fűrészgenerátort indítani.

Az indítójel csatolásának két esete lehetséges:

- AC csatolásnál kondenzátor választja le az indítójel egyenfeszültségű komponensét, így a jel váltakozó feszültségű komponensével jelölhetjük ki a megfelelő indítási szintet,
- DC csatolásnál az indítás tranziensekről, adott szintű egyenfeszültségről vagy periódikus jelekről végezhető.

f) Kalibrálójel

A műszaki adatok között szerepelnie kell az oszcilloszkóp által adott hitelesítőjel paramétereinek. Megadják a jel alakját, értékét, frekvenciáját és ezek pontosságát.

9.5. Az oszcilloszkópok korszerű szolgáltatásai

A műszergyártók a felhasználók által támasztott, egyre növekvő követelményeknek megfelelően újabb és újabb funkciókat építettek a készülékeikbe. Ezzel az oszcilloszkóp kezelését és a vele való mérést egyre kényelmesebbé tették. Az új szolgáltatások a méréseket gyorsabbá, az eredményeket pontosabbá tették.

A teljeség igénye nélkül ismerkedjünk meg e korszerű szolgáltatásokkal, melyek közül többet az újonnan vásárolt oszcilloszkópjaink nyújtának számunkra.

a) Kettős időalapú oszcilloszkóp

A kettős időalap vagy más néven késleltetett időalap (DUAL TIME BASE, DELAYED TIME BASE) azt valósítja meg, hogy az ábrán kétféle időléptékekkel egyszerre ábrázolható ugyanaz a jel. Jól alkalmazható, amikor a vizsgált jel időben rövid szakaszát tüzetesebben szeretnénk megnézni, ugyanakkor a jel másik, időben ennél hosszabb szakaszát is mérni kívánjuk.

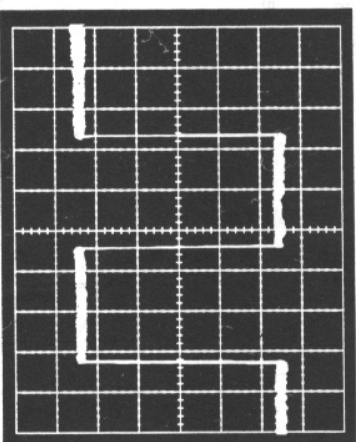
Például, ha mérni szeretnénk egy négyszögjel periódusidejét és élének felfutási meredekségét, akkor a periódusidőt kis, a felfutási meredekséget nagy időelkerítési sebességnél vizsgálhatjuk. Váltakoztatni kell tehát az időalap beállítását, esetleg az indítási szintet is, hogy álló képet kapjunk. Szeretnénk egy ábrán úgy mérni, hogy az elektronsugár az ábra egy kívánt szakaszán gyorsan, a többi részen lassan haladjon. A kettős időalappal ez megvalósítható.

Ezekben az oszcilloszkópokban a főidőalapon (A-val jelöljük) túl egy teljes másikk időalapot találunk (B-vel jelöljük), amelyet beállítható késleltetés után a főidőalap indít.

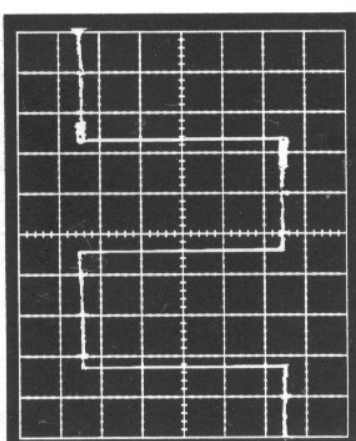
A mérést a következőképpen végezzük:

- Állítsuk be az A időalapon álló képet (86. ábra), majd állítsuk be a B időalapot a kívánt nagytárolásnak megfelelően, és kapcsoljuk be a kettős időalap üzemmódját. Ennek hatására az ernyőkép egy szakasza kivillágosodik (87. ábra).

A kivillágitott szakasz hossza a B időalapon beállított eltérítési sebességgel arányos, a kezdettől való távolsága pedig a késleltetési idő (DELAY TIME) beállított potenciométerrel állítható.

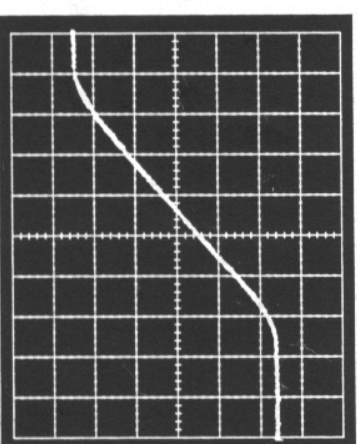


86. ábra. A vizsgált négyszögjel



87. ábra. Ernyőkép kettős időalapú üzemmód bekapcsolása után

- Működtessük a késleltetett időalapot. Ennek hatására az előbb kivillágitott szakasz jelenik meg a képernyőn a B időalapnak megfelelő eltérítési sebességgel (88. ábra).



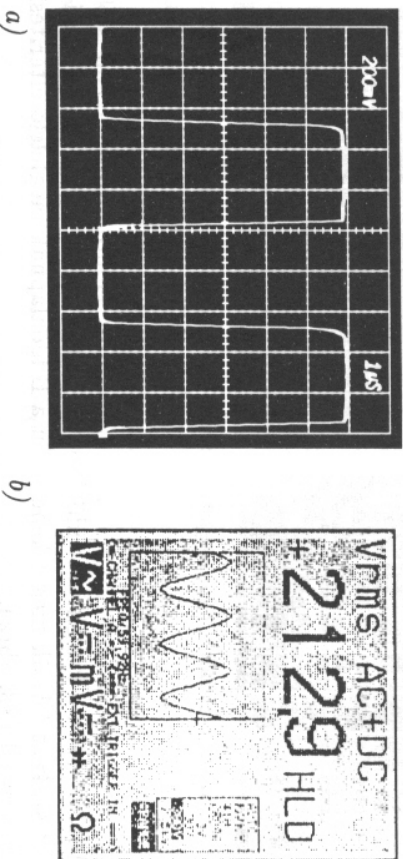
88. ábra. Négyszögjel kinagyított szakasza

A kiválasztott szakasz hossza és késleltetése a teljes ábrán, az oszcilloszkóp egyéb paramétereinek (felső határfrekvencia) figyelembevételével kijelölhető.

b) Képernyőre kiírt karakterek

A felhasználó munkáját nagymértékben segíti, ha az oszcilloszkóp kezelőszervein beállított értékek, ill. egyéb fontos paraméterek a képernyőn megjelennek. Ez ma már a katódsugárgaras és a folyadékkristályos kijelzős oszcilloszkópok szolgáltatása. Az előbbieknek szerényebb, míg az utóbbiaknak, adottságuknál fogva, gazdagabb karakterkészletük van. Szokásos, hogy a katódsugárcsőves oszcilloszkópot kiegészítő folyadékkristályos kijelzőn olvassuk ezeket az információkat.

A 89a) ábrán katódsugárcsőves oszcilloszkóp képernyőre írt karaktereire, a 89b) ábrán folyadékkristályos megjelenítő ernyőképre látunk példát.



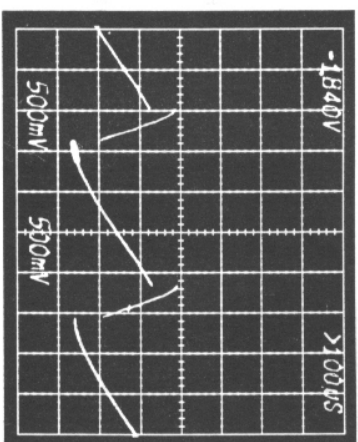
89. ábra. Képernyőre írt karakterek
 a) katódsugárcsőves oszcilloszkóp ernyőképe;
 b) folyadékkristályos kijelzőjű oszcilloszkóp ernyőképe

c) Értékmérések kijelölt pontokon

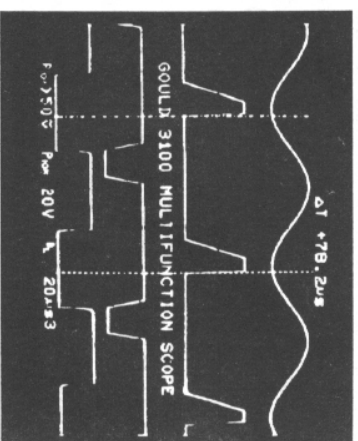
Kedvező, ha a képernyőtől való leolvasás nem terheli a mérést végző személyt, ha a keresett idő-, ill. amplitúdóértékek számjegyes formában leolvashatók. Megjelentésre most is a katódsugárcsővet vagy a műszeren elhelyezett kijelzőt használják.

A mérni kívánt pont, ill. szakasz konstrukciótól függően többféleképpen jelölhető, pl. a jel tetszleges pontja vagy szakasza megjelölhető, és annak paraméterei mérhetők. Ezt a 90. ábrán láthatjuk, amelyen a kivilágosított pont amplitúdóját mérjük. Látható, hogy a kijelölt pont feszültsége -1.840 V , valamint hogy az időeltérítő generátor nincs hiteles állásban ($> 100\ \mu\text{s}$).

Gyakrabban alkalmazott megoldás, amelyben mozgatható markerjelekkel lehet kijelölni a kívánt pontot vagy szakaszt. A 91. ábrán a két markerjel közötti idő $78.2\ \mu\text{s}$.



90. ábra. Feszültségérték-mérés megjelenítése



91. ábra. Mérés markerjelek között

d) AUTO SET funkció

Elektronikus kezelőszervekkel készült oszcilloszkópokon megvalósítható, hogy a kezelőszerveket automatikusan állítsa be a műszer.

Az (AUTO SET) nyomógomb használatkor az oszcilloszkóp a bemenő jel alapján beállítja a függőleges érzékenységet, az időeltérítés sebességét, és szinkronizálási módot választ. Ezt oly módon teszi, hogy a képen optimális méretű, az egész jelet legalább egy perióduson át bemutató, álló ábrát lássunk.

Használatával elkérülhetnek a jelek keresgélésének és szinkronizálásának nehézségei. Annak ellenére jól használható, hogy a beállított értékek szinte soha nem jók a mérést végző szakembernek: vagy más szinkronforrást szeretne, vagy az amplitúdó nem jó.

9.6. Az oszcilloszkópok csoportosítása

Az oszcilloszkópokat elsősorban sávszélesség és a vele szorosan összefüggő alkalmazhatóság szerint csoportosíthatjuk.

a) Kisfrekvenciás vagy ipari oszcilloszkópok

Sávszélességük $0 \dots 500\ \text{kHz}$, függőleges érzékenységük $0,1\ \text{mV/cm}$, az időeltérítés sebességük $10\ \text{ns/cm} \dots 10\ \text{s/cm}$.

Elsősorban ipari és orvosi biológiai mérésekhez alkalmazzák.

b) *Kismértű, univerzális oszcilloszkópok*
 Sávszélességük 0 ... 25 MHz, függőleges érzékenyséjük 1 mV/cm, az időeltérítés sebességük 10 ns/cm ... 5 s/cm.

Szerviz- és beállítómunkákra alkalmas műszer.

c) *Laboratóriumi, univerzális oszcilloszkópok*

Sávszélességük 0 ... 60 MHz, függőleges érzékenyséjük 0,1 mV/cm ... 10 mV/cm, az időeltérítés sebességük 10 ns/cm ... 20 s/cm.

Laboratóriumi mérésekhez, kutatásokhoz, fejlesztésekhez használják őket.

d) *Impulzus oszcilloszkópok*

Sávszélességük 0 ... 500 MHz, függőleges érzékenyséjük 5 mV/cm, az időeltérítés sebességük 1 ns/cm.

A kutatás területén, impulzustechnikai célokra használják.

e) *Mintavevő oszcilloszkópok*

Sávszélességük igen nagy: 0 ... 5000 MHz, függőleges érzékenyséjük 5 mV/cm.

Nagyfrekvenciás áramkörök, híradástechnikai berendezések vizsgálatára alkalmasak.

9.7. Különleges oszcilloszkópok

9.7.1. Mintavevő oszcilloszkópok

Az eddig megismert oszcilloszkópok a jeleket azonnal, a valós időtartományban jelenítik meg. A mintavételező oszcilloszkópok (SAMPLING OSCILLOSCOPE) idő-, ill. frekvenciatranszformációt végeznek.

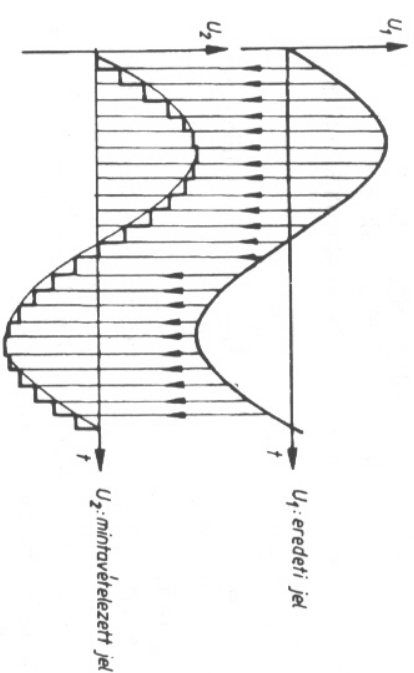
A katódugárcsővel elérhető felső határfrekvencia pár száz MHz. Ennél nagyobb frekvenciájú periodikus jelek vizsgálatát teszi lehetővé a mintavevő oszcilloszkóp.

A mintavételes mérési elv lényege, hogy ha egy periodikus jelből a periódusidőtől eltérő időközönként és meghatározott sűrűséggel mintát veszünk, akkor a minták sorozatából előállítható az eredeti jel.

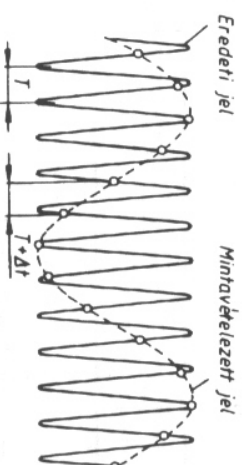
A 92. ábrán látható, hogy a mintákból visszaállított jel lépcsőzetes. Ez a lépcsőzetesség – bizonyos határokon belül – tetszőlegesen finomra állítható és további elektronikus eszközökkel csökkenthető.

Végezzük a mintavételezést úgy, hogy egy-egy mintavétel közt egy vagy több jelperiódust kihagyunk (93. ábra). A kapott jel az előző lépcsőzetes jelhez hasonló, frekvenciája azonban a vizsgált jel frekvenciájánál jóval kisebb.

Látható, hogy az ilyen mintavételezéshez az eredeti jel sok periódusára van szükség.



92. ábra. Mintavételezett szinuszos jel



93. ábra. Mintavételezett jel

Ezzel a mintavételezési eljárással az oszcilloszkóp határfrekvenciája elérheti az 5 ... 10 GHz-et.

9.7.2. Tárolóoszcilloszkópok

Számos esetben eddigi oszcilloszkópjainkkal nem tudjuk a kívánt méretet elérni, mert vagy a jel kisfrekvenciás, így a képernyő vibrálása zavaró, vagy csak nagy eltérítési sebességgel rajzolható fel és ekkor az oszcilloszkópnak már kicsi a fényereje. Előfordul az is, hogy a mért folyamat rövid idő alatt egyszer, transziens jelként zajlik le, így legfeljebb csak egy felvillanást láthatunk a képernyőn.

A megoldást a tárolóoszilloszkópok (STORAGE OSCILLOSCOPES) adják, melyek – ahogy nevükből következik – képek a képernyőn látható jelet tárolni.

Felépítésük, működésük szerint analóg (vagy más néven tárolócsöves), és digitális tárolóoszilloszkópot különböztetünk meg.

Mindegyik tárolóoszilloszkóp a tárolófunkción kívül használható hagyományos oszcilloszkópként is.

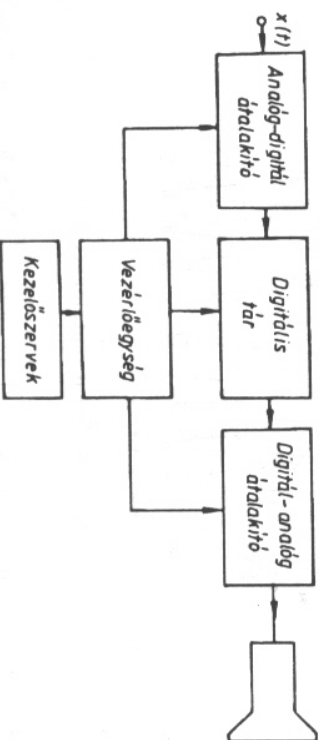
a) Analóg (tárolócsöves) tárolóoszilloszkóp

Ezeknél az oszcilloszkópoknál a tároló funkciót különleges katód sugárcső valósítja meg. A speciális kialakítású képernyő mintegy „emlékezni” képes az elektronsugár által megtett nyomvonalra.

Különlleges ernyőbevonatán az utánvilágítás ideje állítható. A tárolt er-nyőképet hosszú ideig (több óráig) megőrzi, nem vész el az oszcilloszkóp kikapcsolásakor sem, minősége az idő múlásával viszont romlik. Hátránya, hogy a tárolt kép nem változtatható.

b) Digitális tároló oszcilloszkóp

E megoldás esetén elektronikus memória tárolja a képet. A bemeneti jelet az oszcilloszkóp analóg–digitális átalakítóval digitalizálja, elektronikus memóriában tárolja, majd a tár tartalmát ismét analóg jelle alakítva jeleníti meg a képernyőn (94. ábra).



94. ábra. Digitális tárolóoszilloszkóp vázlatja

A digitális tárolóoszilloszkóp működésével a felhasználók számára kedvező előnyöket nyújt:

- elektronikus memóriája lévén a tárolás ideje nincs korlátozva;
- memóriájából a tárolt adatok kívánt része olvasható ki, így a jel tetszőleges szakasza jeleníthető meg a képernyőn.

A tárolt kép digitalizált formája könnyen továbbfeldolgozható, akár nyomtatón, akár ábra formájában rajzolon megjeleníthető.

A memóriában referencia-jelalak tárolható, és az aktuális jellel méréskor való összehasonlításra megjeleníthető.

A digitális tárolóoszilloszkópok függőleges érzékenységet az analóg–digitális átalakító, vízszintes elterítését a tárcapacitás határozza meg.

9.8. Mérések oszcilloszkóppal

Az oszcilloszkópról az adatokat osztásegyységben (DIV) vagy centiméteres beosztásnál cm-ben olvassuk le. Az érzékenység, ill. az időel térítés sebessége ismeretében számíthatjuk a feszültség, ill. az idő mért értékét. Úgyelni kell arra, hogy értékeket csak a kezelőszervek hiteles (CAL) állásában olvassunk le.

A mérések során célszerű az egész képernyőt használni, a leolvadási hiba így csökkenthető.

A mérés megkezdésekor a bemenet GND állásában, automatikus indítással ellenőrizzük a nullavonal helyzetét.

9.8.1. Feszültségmérés

Az oszcilloszkópos feszültségmérés azon alapszik, hogy a fénypont kitérése egyenesen arányos az elterítőszerkezetre adott feszültséggel.

Ha a bemenetre 0 V feszültséget adunk, ill. a bemeneti kapcsolót (1. 85. ábrán K1) GND állásba kapcsoljuk, megfelelő elterítési sebesség és indítási mód választásával a képernyőn vízszintes vonalat látunk. Ha az időel térítő generátort kikapcsoljuk, a képernyőn fénypont jelenik meg. A vonal és a fénypont helye is a függőleges pozíció (VERT. POSITION) állításával változtatható.

Egyenfeszültség mérésekor a vonalat, ill. fénypontot nyugalmi helyzetéből kitérítjük. Természetesen ez csak a bemeneti kapcsoló DC állásában lehetséges. Ha a vonal (fénypont) nulla feszültséghez tartozó helyzetét beállítottuk, akkor a mérendő feszültség értékét a kezelőszerveken beállított érzékenység figyelembevételével a helyzetváltoztatás mértékéből számíthatjuk (95. ábra).

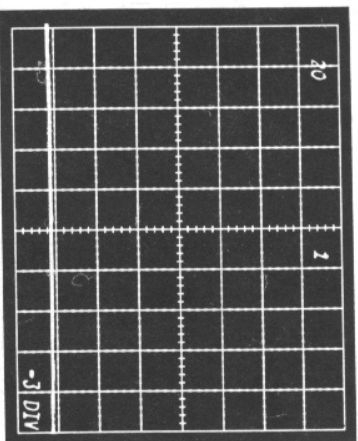
A képről leolvasva l értékét az érzékenység (E) ismeretében a feszültség:

$$U = lE.$$

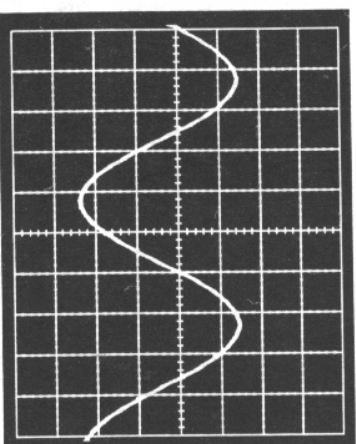
A váltakozó feszültség mérésének elve hasonló. A vizsgálandó jelet a bemenetre kapcsolva szinkronizáljuk, ezután a jel amplitúdója az egyenfeszültség-méréssel azonos módon határozható meg (96. ábra).

Pontosabb a leolvadás, ha a fűrészen generátort kikapcsoljuk, így a képernyőn függőleges fénycsíkot látunk, melynek hosszát kell megmérni (97. ábra).

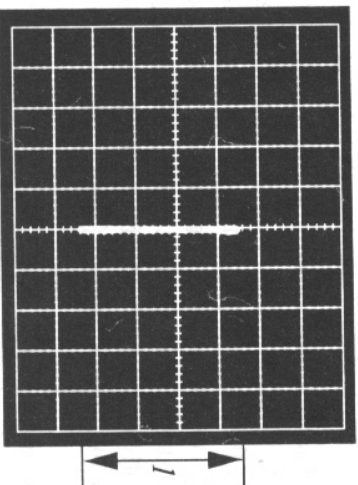
Nem szabad megfeledkezni arról, hogy az így mért feszültségek a változó feszültség csúcstól csúcsig mért értékei.



95. ábra. Egyenfeszültség-mérés oszcilloszkóppal



96. ábra. Változó feszültség mérése oszcilloszkóppal



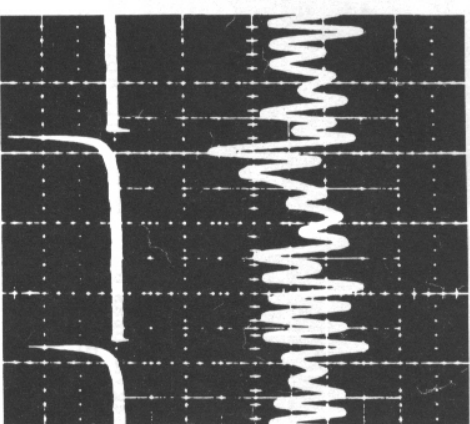
97. ábra. Változó feszültség mérése kikapcsolt időeltérítései oszcilloszkóppal

9.8.2. Jelalakvizsgálat

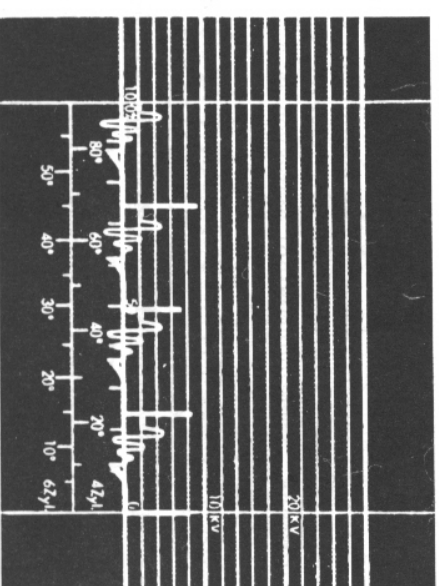
Az oszcilloszkóp egyik legfontosabb alkalmazási területe a változó villamos jelek láthatóvá tétele. Néhány olyan példát ismertetünk, amelyek a mérés-technikai gyakorlatra jellemzők.

a) Elektronikus áramkörök, érzékelők működés közbeni vizsgálata, beállításuk. Példaképp a 98. ábrán egy négyhengeres motor szivócsőnyomásának változását látjuk a főtengely helyzetének függvényében.

b) Nem szinuszos jellegű folyamatok mérése, a jel folyamatos megfigyelése. Példának egy négyhengeres motor szekunderfeszültségének gyújtásképét mutatjuk be (99. ábra).



98. ábra. Négyhengeres motor szivócsőnyomás-változása a főtengely helyzetének függvényében

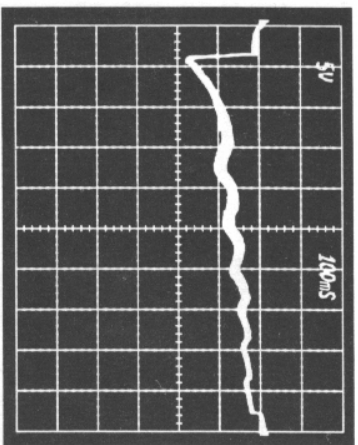


99. ábra. Négyhengeres motor szekunderfeszültségének gyújtásképe

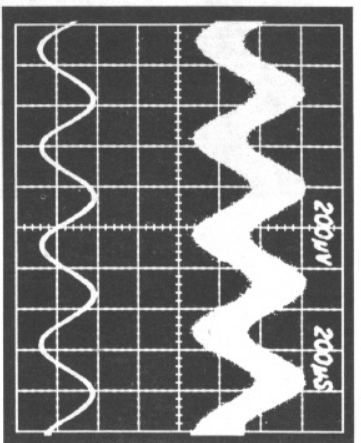
c) Be-, ill. kikapcsolásnál keletkező transziens jelenségek vizsgálata. Példánk dizelmotor indításakor az indítómotor működésének hatását szemlél-teti. A 100. ábrán az indítózás során az akkumulátor sarkain bekövetkező feszültségváltozást látjuk.

d) Zajmegállapítás. A zaj a véletlen folyamatok következtében létrejövő statisztikus eloszlású jel. Jellemzője, hogy a vizsgálandó jelet rendszertelenül

befolyásolja. A 101. ábrán zajos szinuszfeszültséget látunk (alatta összehasonlításként a zajmentes jel figyelhető meg).



100. ábra. Feszültségváltozás a testhez képest az akkumulátor pozitív sarkán



101. ábra. Zajos szinuszos feszültség

9.8.3. Frekvenciamérés

Oszilloszkóppal kétféleképpen végezhetünk frekvenciamérést.

Egyik módszerrel a hitelesített (kalibrált) időeltérítéssel periódusidőmérést végzünk úgy, hogy megmérjük a jel egy periódusának hosszát, majd szorozzuk az időeltérítő generátor eltérítési sebességével, melyet a kezelőszervekkel beállítottunk. A periódusidőből a frekvencia az ismert módon számítható: $f = 1/T_{per}$.

A frekvenciamérés másik módja összehasonlításos. Általában csak ritkán és csak szinuszos jelek mérésére használják. A mérés feltétele, hogy rendelkezésre álljon egy ismert és változtatható frekvenciájú generátor, amelyhez az ismeretlen jelet hasonlítani fogjuk.

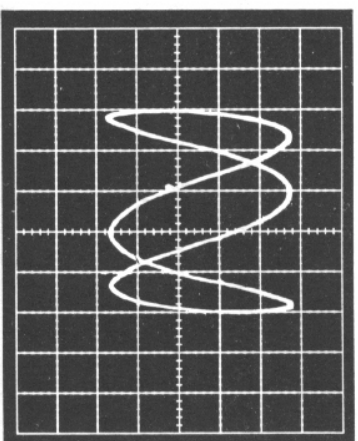
Az ismert jelet az egyik, pl. a vízszintes bemenetre, a vizsgálandó jelet pedig a másik, pl. függőleges bemenetre adjuk. A fénypont a képernyőre görbét rajzol, melyet felfedezőjéről Lissajous-görbének nevezünk.

Ha a két frekvencia aránya egész szám, akkor a képernyőn álló ábrát látunk (102. ábra).

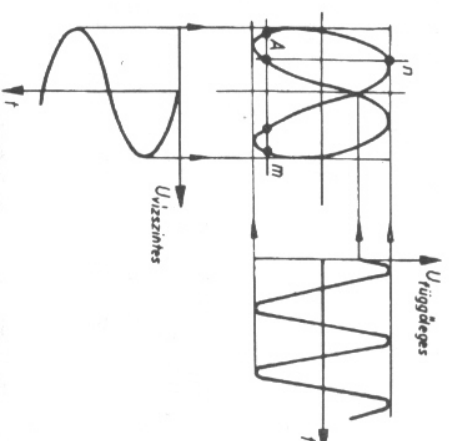
Az egyiképp kialakulását a 103. ábra alapján érthetjük meg.

A frekvenciák aránya az ábra egy pontján (A) átfektetett függőleges és vízszintes egyenes, valamint a görbe metszéspontjaiból határozható meg:

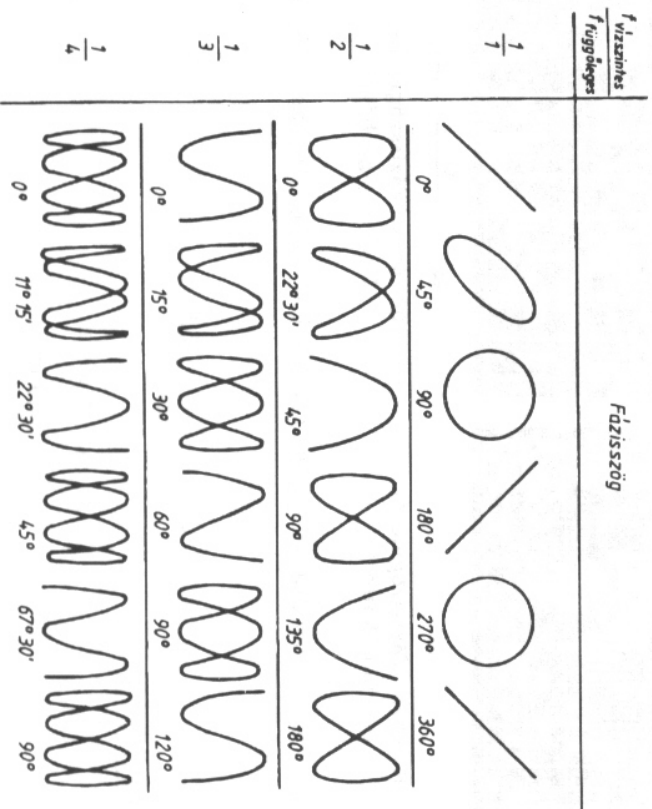
$$\frac{m}{n} = \frac{f_{\text{függőleges}}}{f_{\text{vízszintes}}}$$



102. ábra. Frekvenciamérés Lissajous-görbével



103. ábra. Lissajous-görbe kialakulása



104. ábra. Lissajous-görbék a frekvenciaarány és a fázisszög függvényében

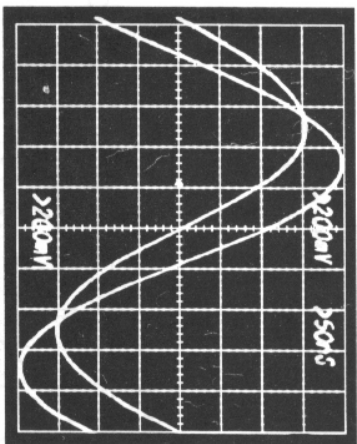
ahol m a vízszintes, n pedig a függőleges metszéspontok száma.

A kialakuló görbék a két feszültség fázisától függően igen változatos alakot vehetnek fel. Ezt látjuk a 104. ábrán.

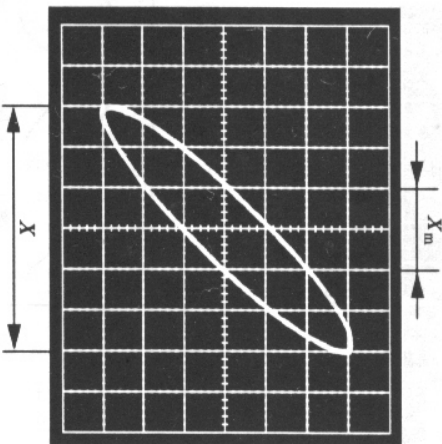
9.8.4. Fázisszög mérés

Fázisszögmérést oszcilloszkóppal – csakúgy mint frekvenciamérést – kétféleképp végezhetünk.

Egyik eljárásnál az oszcilloszkóp két függőleges bemenetére adjuk a vizsgált jeleket, és a képernyőre kirajzolódó két azonos frekvenciájú időfüggvényből határozzuk meg a fázisszöveget (105. ábra).



105. ábra. Fázisszögmérés oszcilloszkóppal



106. ábra. Fázisszögmérés Lissajous-görbével

A periódus hosszát a jelek közti távolsághoz viszonyítva kiszámíthatjuk a fázisszöveget:

$$\varphi = \frac{l_x}{l_{\text{periódus}}} \cdot 360^\circ$$

$$l_{\text{periódus}} = 10 \text{ cm},$$

$$l_x = 0,9 \text{ cm}$$

$$\varphi = 0,09 \cdot 360^\circ = 32,4^\circ$$

Példánkban:

Természetesen a vízszintes hosszak helyett az oszcilloszkópról leolvasott időket is összehasonlíthatjuk.

A másik módszer alapja a frekvenciamérésnél megismert Lissajous-görbe kiértékelése.

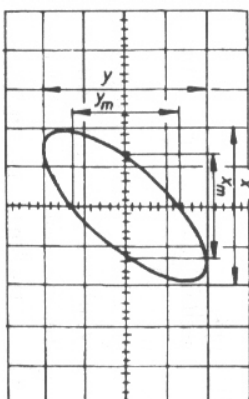
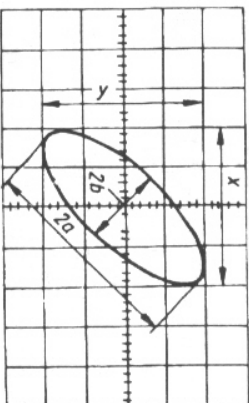
Azonos frekvenciájú jeleket vizsgálva Lissajous-módszerrel a 106. ábrán látható képet kapjuk.

A görbét többféleképp értékelhetjük. A 107. ábra jelöléseit felhasználva:

$$\tan \frac{\varphi}{2} = \frac{2b}{2a}$$

$$\sin \varphi = \frac{X_m}{X}$$

$$\sin \varphi = \frac{Y_m}{Y}$$



107. ábra. Lissajous-görbék kiértékelése

10. Villamos mennyiségek mérése

10.1. Egyenáram és egyenfeszültség mérése

10.1.1. Az elektromechanikus műszer alkalmazása

Egyenáram, ill. egyenfeszültség mérése a már korábban megismert műszerek közül elsősorban az állandó mágnesű és az elektrodinamikus műszert használjuk.

A legelterjedtebben használt állandó mágnesű műszerrel $1 \mu\text{A} \dots 50 \text{ mA}$ áram- és $1 \text{ mV} \dots 600 \text{ V}$ feszültség tartományban mérhetünk. Az elérhető pontosság $0,1\%$, a műszer fogyasztása néhány száz milliwatt.

Nagyobb áramok, ill. feszültségek e műszerrel közvetlenül nem mérhetők, azok méréséhez sönt, ill. előtét-ellenállás szükséges.

Az elektrodinamikus műszer is csak $0,1\%$ körüli mérési pontosság elérését teszi lehetővé, azonban fogyasztása nagyobb a Déprez-műszerénél: típikusan néhány VA körüli érték.

Ezzel a műszerrel $30 \text{ mA} \dots 100 \text{ A}$ áram- és $30 \text{ V} \dots 600 \text{ V}$ feszültség tartományban mérhetünk. A mérés határértékváltást a tekercsek soros-párhuzamos kapcsolásával vagy előtét-ellenállások beiktatásával oldják meg.

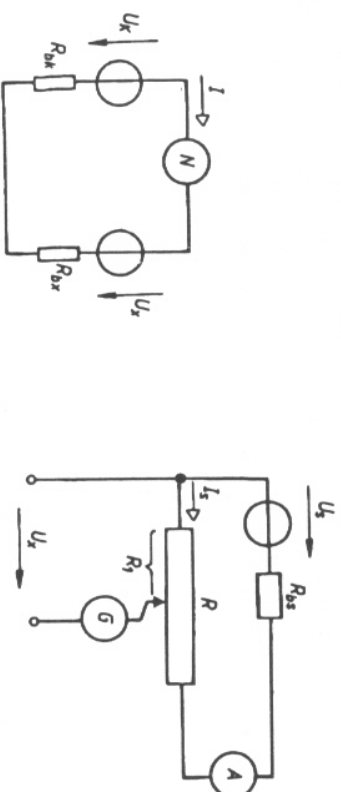
Mindkét műszer tulajdonságát és alkalmazását a 4., ill. 5. fejezetben már megismerhettük.

10.1.2. Kompenzációs módszer

Az egyenfeszültség mérésének egyik legpontosabb módszere a kompenzációs módszer. Alkalmazásakor a mérendő feszültséget egy pontosan ismert feszültséghez hasonlítjuk. A klasszikus kompenzációs mérés meglehetősen hosszadalmas eljárás, az elvégzéséhez használt eszközök – a precíziós kompenzátórok – kezelése nehezes (hitelesítés, kalibrálás, kiegyenlítés). Ezért, no meg azért, mert a digitális műszerekkel egyszerűbben végezhetünk hasonló pontosságú méréseket, ma már csak ritkán használják őket.

Nem avult el azonban maga a mérési elv, amelyet számtalan feszültség-mérési feladat megoldásához alkalmaznak.

A kompenzációs módszer lényege a 108. ábrán látható. Az U_k kompenzációs feszültséget addig változtatjuk, míg az N nullindikátor nullát nem mutat. Ekkor $U_k = U_x$, és mivel a körben folyó áram nulla, megközelítően ideális, végtelen belső ellenállású feszültségmérőt kaptunk.



108. ábra. Feszültségkompenzátor
elvé

109. ábra. Technikai kompenzátor
kapcsolása

A mérés elvének egyik lehetséges megvalósítása a technikai kompenzátor, melynek kapcsolása a 109. ábrán látható.

Az ismeretlen feszültséggel szembekapcsoljuk az állandó, ismert U_s feszültségről táplált feszültségosztó R_1 szakaszától levett feszültséget. Ha a G galvanométer nullát mutat, akkor

$$U_x = R_1 I_s,$$

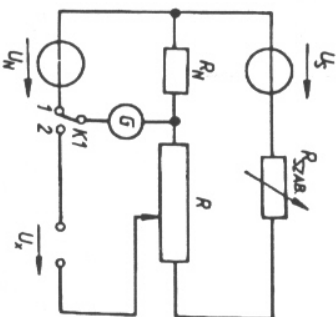
ahol I_s a segédfeszültség és az összes ellenállás által meghatározott áramérték.

Az így felépített kompenzátorral a feszültségmérés pontosságát lényegesen csak az árammérő korlátozza. Ha a segédáram mérését is a kompenzátorral végezzük, akkor a pontosság növelhető. Ilyen, ún. kettős kompenzátor kapcsolása a 110. ábrán látható. A $K1$ kapcsoló I állásában beállítjuk a segédáramot. Az R_{s2} ellenállás beállításával elérjük, hogy a célszerűen megválasztott R_N ellenálláson eső feszültség megegyezzen az U_N feszültséggel. Ekkor a galvanométer (a kapcsoló I állásában) nullát jelez, a beállított segédáram $I_s = U_N / R_N$.

Ezután az ismeretlen feszültség méréséhez a kapcsolót 2 állásba kapcsoljuk, és az R ellenállás változtatásával a galvanométert ismét nullára állítjuk. Mivel a segédáram állandó, beállított értékű, ezért az R ellenállás csuszájának helyzete közvetlenül feszültségben skálázható.

Segéd feszültségként a Weston-féle normálemenet ($U_N = 1,01865 \text{ V}$) használva R_N értékét $10186,5 \Omega$ -ra választhatjuk, így a segédáram $I_s = 0,1 \text{ mA}$ lesz.

A feszültségmérés pontosságára a segéd feszültség (U_N), a normállenállás (R_N), ill. a változtatható ellenállás (R) hibájától és a galvanométer kiszóbbáramától függ. Az elérhető pontosság $0,01 \%$. A pontosságon túl a kompenzációs módszer előnye még, hogy az ismeretlen jelforrást nem terheli mérésakor (belső ellenállása néhány $M\Omega$ nagyságú), így a mérőkörből felvett fogyasztása is kicsi.



110. ábra. Kettős kompenzátor kapcsolása

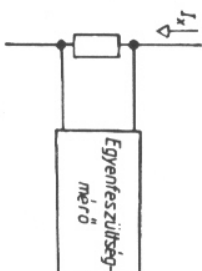
10.1.3. Analóg elektronikus és digitális műszerek

Az elektromechanikus műszereket, ahogy azt megismerhetjük, viszonylag szűk mérési tartomány, nagy fogyasztás és túlterhelésre való érzékenység jellemzte. Ezek a hátrányok megszűntek az analóg elektronikus műszerek, ill. a digitális műszerek alkalmazásával.

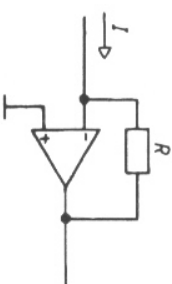
Az analóg elektronikus műszereknél a Déprez-műszer elé elektronikus fokozatokat kapcsolunk, így a műszer bemeneti ellenállása is kedvezően változott. A kialakítástól függően a mérés határ $0,1 \text{ V}$ -tól 1000 V -ig terjed, a mérés pontosságát a Déprez-műszer és az elektronika határozza meg, de általában nem jobb, mint 1% . Az analóg elektronikus műszerek tulajdonságait a 8. fejezetben ismerhetjük meg.

A digitális egyenfeszültség-mérők alapvető jellemzőit az alkalmazott analóg-digitális átalakító határozza meg. Pontosságuk sokkal jobb, mint az eddigieké, bemeneti ellenállásuk az ideális feszültségmérőt közelíti meg. Kedvező, hogy a mérés eredménye közvetlenül továbbfeldolgozható. A digitális műszerekkel részletesebben a 8. fejezetben foglalkoztunk.

Az egyenáram mérését az esetek túlnyomó többségénél egyenfeszültség mérésére vezetjük vissza. Az áram-feszültség átalakító lehet passzív vagy aktív, ill. igen kis egyenáramok esetén speciális elektronikus megoldású. Passzív átalakítónál a mérendő áramot ismert ellenálláson vezetjük keresztül, és valamely egyenfeszültség-mérő módszerrel mérjük az ellenálláson eső feszültséget (111. ábra).



111. ábra. Passzív áram-feszültség átalakító



112. ábra. Aktív áram-feszültség átalakító

Az eljárás hátránya, hogy a feszültségmérő bemeneti ellenállása párhuzamosan kapcsolódva a mérőellenállással, megváltoztatja a mérendő áramot (hacsak nem áramgenerátoros jellegű a táplálás), hiszen eredőjük a mérőkörbe kapcsolódik. Ezért törekedni kell, hogy a belktartott ellenállás kis értékű legyen, ez viszont kis feszültség mérését teszi szükségessé. A módszert $1 \mu\text{A} \dots 10 \text{ A}$ tartományban alkalmazzák.

Aktív áram-feszültség átalakítókkal igen kis bemeneti ellenállás biztosítható (112. ábra). Alkalmazása 10 pA -tól 1 A -ig terjed.

10.2. Változó feszültség és változó áram mérése

Az időben változó jelet egyértelműen annak időfüggvénye írja le. Az időfüggvény mérése a legnehezebb. Sokszor – főként a kitüntetett és jól ismert szinuszos jelekre esetén – elegendő az ismeretlen jel bizonyos paramétereinek mérése, melyeket egyszerűbb módszerekkel is elvégezhetünk.

A változó jelek legjellemzőbb paramétereit villamosságtanból már jól ismerjük. Most a leggyakoribb mérési módszereket foglaljuk össze.

10.2.1. Elektromechanikus és elektronikus műszerek alkalmazása

Az elektromechanikus műszerek elsősorban a változó villamos mennyiségek nagyságának mérésére alkalmasak. Frekvencia mérésére alkalmas rezgőnyel-

ves frekvenciamérőri és a fáziszög, ill. fázistényező mérésére használt $\cos \varphi$ mérőri ma már meglehetősen ritkán alkalmazzák.

A korábban (a 4. és 5. fejezetben) megismert *elektromechanikus műszerek* mindegyike alkalmas a váltakozó mennyiségek valamely jellemzőjének mérésére.

A *Déprez-műszer* a váltakozó jel egyszerű középértékét, azaz a jel egyen-áramú összetevőjét méri, csak igen kis frekvenciákon képes a változást követni.

Váltakozó jelek abszolút középértékének mérésére az *egyenirányítós Déprez-műszerek* alkalmasak. Ezek a jel abszolút középértékét érzékelik és annak 1,11-szeresét mutatják.

A Déprez-műszer kivételével valamennyi műszer a váltakozó jel effektív értékét méri, hiszen a kitérítőnyomaték a műszere kapcsolott jel négyzetével arányos. A különbség közöttük a műszerek határfrekvenciájában, túlterhelhetőségében és fogvasztásában van.

Az elektronikus műszerekben (analógban és digitálisban egyaránt) váltó-egyen átalakítót, ill. áram-feszültség átalakítót alkalmaznak.

A váltakozó mennyiségek számos egyéb jellemzőjének mérésére készülnek – rendszerint elektronikus – műszerek, melyek működésének bemutatása meghaladja jelenlegi tanulmányainkat, azonban a felsorolás szintjén legalább neveljük ismerkedjünk meg.

A *szelektív műszer* segítségével lehetővé válik a jelből egy meghatározott frekvenciájú komponens amplitúdójának mérése.

A *csúcsértékmérők* a váltakozó jel pozitív vagy negatív csúcsértékével, vagy a csúcstól csúcsig vett értékével arányos egyenfeszültséget állítanak elő, és azt mérik.

A *fázisérzékelny egyenirányítós műszerekkel* a mérendő szinuszos feszültségnek egy adott referenciat feszültség irányába eső vetületét határozhatjuk meg.

A váltakozó feszültségű (áramú) kompenzátórok vagy más néven *kompenzáló kompenzátórok* segítségével az egyenfeszültség-mérésnél megismert kompenzációs (nulla) módszerrel mérhetjük a váltakozó jel amplitúdóját és fáziszögét. Előnye a nagy pontosság, valamint, hogy a mérendő jelet nem terheli.

10.2.2. Időfüggvények mérése

Időfüggvények mérésére a regisztrálóműszerek és az oszcilloszkópok alkalmasak.

A regisztrálóműszerek – ahogyan azt a 6. fejezetben láttunk – elektromechanikus műszerek, amelyekben a mutató által mozgatót írószerkezetet a műszer mozgó papírjára rögzíti a mérés eredményét. Ha a papír mozgása az idővel arányos, akkor a műszer a változó jel időfüggvényét méri. Ezzel a megoldással néhány százalék pontosságú műszer készíthető, az elérhető felső határfrekvencia alacsony, néhány száz tíz Hz. Előnye viszont, hogy a mérés eredménye rögzített, később is kiértékelhető.

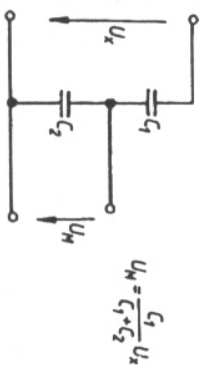
Az időfüggvény mérésének korszerű eszköze az oszcilloszkóp, melynek felépítésével, használatával a 9. fejezetben részletesen foglalkoztunk.

10.2.3. A mérés határ kiterjesztésének eszközei váltakozó jelek mérésekor

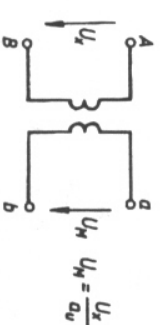
Váltakozó áram nem mérhető az egyenáram mérésénél megismert söntöléssel, mert a váltakozó áramú műszerek induktivitása jelentős és a kitérés függvényében változhat.

Nagy váltakozó feszültség mérhető a már megismert előtét-ellenállásos mérés határ bővítéssel. Nagyobb feszültségek mérésekor azonban az előtét ellenállások disszipációja jelentős, valamint szigetelési problémák és életvédelmi szempontok merülnek fel (a disszipáció a hővé alakuló veszteségi teljesítményt jelent).

A disszipációs probléma megoldása a kapacitív feszültségosztó (113. ábra). Ennek az ohmos osztóhoz képesti előnye, hogy disszipáció gyakorlatilag nincs.



113. ábra. Kapacitív feszültségosztó



114. ábra. Feszültségváltó betűjelei

A mérőtranszformátorok alkalmasak arra, hogy a mérendő áramot, ill. feszültséget a szükséges mértékben, adott pontossággal csökkentse. Ezeket a mérőtranszformátorokat áramváltónak és feszültségváltónak nevezik.

a) Feszültségváltó

A feszültségváltó olyan transzformátor, amelynek nagy menetszámú primer tekercsét a mérendő feszültségforrásra, szekunder tekercsét pedig a fe-

szültségmérő műszerre kötjük. A szekunder feszültség névleges értéke legtöbbször 100 V, ill. 110 V, így ennek megfelelő műszert kell a szekunder oldalon alkalmazni.

A műszer feszültségét fázishelyesen alakítják át. A helyes bekötés érdekében a feszültségváltó tekercsének végét szabványos betűjelölésekkel rendelik össze: A-a, B-b (114. ábra).

A feszültségváltó névleges primer feszültsége U_{1n} , szekunder feszültsége U_{2n} , áttétele e kettő viszonya:

$$a_u = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$$

Ha a primer oldalon mért feszültség U_1 , a szekunder oldali pedig U_2 , akkor a feszültségváltó áttételi hibája:

$$h_u = \frac{a_u U_2 - U_1}{U_1}$$

A mérőtranszformátoroknak nem csak áttételi hibájuk, hanem szöghibájuk is van. Ez a hiba a primer és a szekunder mennyiségek fáziseltérése. Feszültségváltóknál a szöghiba a primer és szekunder feszültségek szögeltérését jelenti, jele d_u .

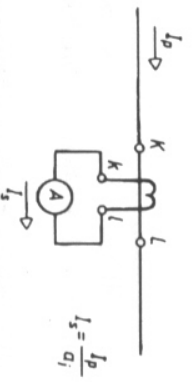
A mérési célokra készített feszültségváltók áttételi hibája 0,1 ... 1 %, szöghibája 0,1 ... 1 század radián (crad).

Feszültségváltók használatakor a szekunder kör egyik kapcsát földelni kell, hogy esetleges meghibásodásnál a mérőkör ne kerülhessen a nagyfeszültség alá.

b) Áramváltó

Az áramváltó igen nagy (több ezer amper) értékű áramok mérését is lehetővé teszi galvanikus elválasztással. Kis menetszámú primer tekercsét sorosan kell a fogyasztó áramkörébe iktatni, szekunder kapacitát pedig árammérő műszerhez kapcsoljuk. A szekunder áram névleges értéke 1 A vagy 5 A.

A helyes bekötés érdekében az áramváltók kapcsait is betűjelöléssel rendelik össze: a primer oldal K-L, a szekunder oldal k-l jelű (115. ábra).



115. ábra. Áramváltó betűjelei

Az áramváltó áttétele a névleges primer áram és a névleges szekunder áram hányadosa:

$$a_i = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$$

Az áttételi hiba:

$$h_i = \frac{a_i I_2 - I_1}{I_1}$$

ahol I_1 a mért primer áram és I_2 a mért szekunder áram.

Az áramváltó szöghibája a primer és szekunder áram közti fázisszög, jele d_i .

Az áramváltók üzemeltetése során ügyelni kell arra, hogy a szekunder kapcsokat soha ne szakítsuk meg, mert ekkor a szekunder tekercsben életveszélyes feszültség indukálódhat.

Az áramváltók áttételi és szöghibája a feszültségváltókéhoz hasonló: 0,1 ... 1 %, ill. 0,1 ... 1 század radián (crad).

Az áramváltó egyik speciális kialakítású formája a lakatfogó, amely egy-menetű primer tekercse maga az áramvezető huzal. A nyitható-zárható vas-magon van a szekunder tekercselés. Kialakítása lehetőséget ad az ampermérő áramkör megszakítása nélküli csatlakoztatására. Legtöbbször árammérővel egybeépítve készítik.

10.3. Villamos teljesítmény mérése

Az egyenáramú teljesítményt a fogyasztón átfolyó áram és a rajta eső feszültség szorzata adja:

$$P = UI,$$

ahol U a feszültség, I az áram középértéke. Ha a feszültséget voltban, az áramot amperben mérjük, akkor a teljesítményt wattban (W) kapjuk.

Váltakozó áramon háromféle teljesítményt mérhetünk. Ha U a fogyasztó feszültsége, I a fogyasztón átfolyó áram, és φ a közöttük lévő fázisszög, akkor: a hatásos teljesítmény a $P = UI \cos \varphi$, a meddő teljesítmény a $Q = UI \sin \varphi$, a látszólagos teljesítmény az $S = UI$ összefüggés szerint számítható. Ez utóbbiak egysége voltamper (VA).

10.3.1. Egyenáramú teljesítmény mérése

Egyenáramú teljesítményt volt- és ampermérős módszerrel, elektromechanikus, ill. elektronikus teljesítménymérővel mérhetünk.

Volt- és ampermérős teljesítménymérést mutat a 116a) és a 116b) ábra. Mindkét műszer fogyasztásából rendszeres hiba adódik a teljesítménymérésben.

Az első esetben az ampermérő méri a voltmérőn átfolyó áramot is, ezért a mért teljesítmény a voltmérő fogyasztásával nagyobb, mint a fogyasztó tényleges teljesítménye:

$$P = P_M - \frac{U^2}{R_V} = U_M I_M - \frac{U^2}{R_V}.$$

A második kapcsolásban a voltmérő a terhelésen és az ampermérőn eső feszültséget méri, ezért a fogyasztó teljesítményét úgy kapjuk, ha a mért teljesítményből levonjuk az ampermérő fogyasztását:

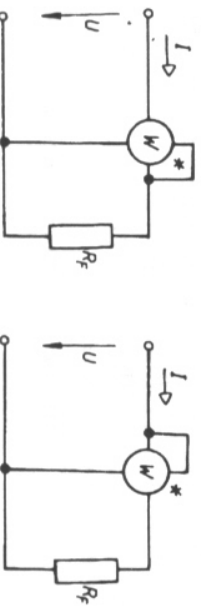
$$P = P_M - I^2 R_A = U_M I_M - I^2 R_A.$$

Teljesítménymérésre az elektromechanikus műszerek közül az elektrodinamikus műszer a legalkalmasabb.

Alkalmazásakor a volt- és ampermérős módszerhez hasonló problémákkal állunk szemben, hiszen mindkét bekötésnél a műszertekercsek fogyasztásával is számolni kell (117. ábra).



116. ábra. Teljesítménymérés voltmérővel és ampermérővel



117. ábra. Teljesítménymérő bekötése

A korrekciót most a wattmérő belső ellenállásának figyelembevételével kell elvégezni.

Ha a mérést követően arra megállapításra jutunk, hogy a rendszeres hiba nem hanyagolható el, akkor a feszültségtekerces ellenállásával való korrekciót célszerű választani. A feszültségtekerces ellenállása ugyanis jól definiált érték, csak kismértékben hőmérsékletfüggő és a műszeren mindig feltüntetjük. A wattmérők bekötésekor mindig ügyelni kell arra, hogy ha a kapcsolás úgy kívánja, hogy közöstiteni kell a feszültségtekerces egyik végét az áramtekerccsel, akkor a feszültségágnak mindig az előtét-ellenállás nélküli (általában csillaggal jelölt) végét közöstitjük. Azért kell így eljárni, mert az áramtekercesnek és a feszültségtekercesnek azonos potenciáljon kell lennie. A mérőmű kis távolságokon belüli nagyobb feszültségkülönbségénél (mely az előtét-ellenálláson eső feszültség is lehet) átités jöhet létre, mely a műszert tönkreteszti.

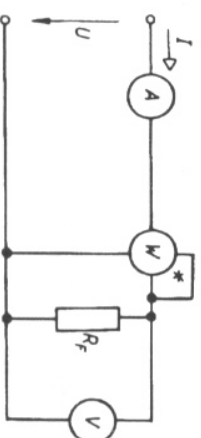
10.3.2. Váltakozó áramú teljesítmény mérése

a) Egyfázisú hatásos teljesítmény mérése

Egyfázisú hatásos teljesítmény méréseit elektrodinamikus wattmérővel vagy három voltmérővel végezhetjük.

Az elektrodinamikus wattmérő az $UI \cos \varphi$ szorzatot mutatja, ami éppen a hatásos teljesítménnyel egyezik meg. A rendszeres hiba és a bekötés tekintetében az egyenáramú körökben való alkalmazáshoz hasonlóan kell eljárni.

Az $UI \cos \varphi$ szorzattal arányos kitérésből nem következtethetünk arra, hogy az áramtekercesen mekkora áram folyik, ill. a feszültségtekercesen mekkora feszültség van. Így a megengedetnél jóval nagyobb áram folyhat, ill. feszültség lehet a tekerceseken, és ez a műszert tönkretelheti. Elkerülésére a wattmérő áramtekerccsel sorba ampermérőt, feszültségtekerccsel párhuzamosan voltmérőt kell kötni (118. ábra).



118. ábra. Teljesítménymérő bekötése váltakozó áramú méréskor

Nagy áramerősség, ill. nagy feszültség mérésekor áramváltó, ill. feszültségváltó közbeiktatásával mérhetünk. Ezt közvetett teljesítménymérésnek nevezzük.

Három voltmérővel való teljesítménymérés vázlatára a 119. ábrán látható.

A mérendő Z impedanciájú fogyasztóval sorbakötünk egy ismert R ellenállást. MÉRJÜK az impedancia sarkain az U_Z feszültséget, az ellenállás U_R feszültséget és az U_e eredő feszültséget. A vektorábrán látható feszültségháromszögre a koszinusz-tételt alkalmazva felírhatjuk:

$$U_e^2 = U_R^2 + U_Z^2 - 2U_R U_Z \cos(180^\circ - \varphi),$$

azaz

$$U_e^2 = U_R^2 + U_Z^2 + 2U_R U_Z \cos \varphi,$$

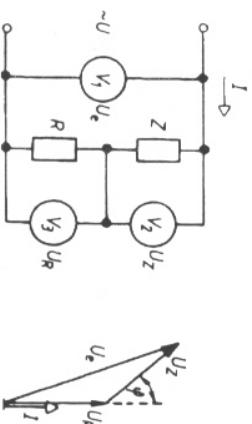
$$U_e^2 = U_R^2 + U_Z^2 + 2U_R U_Z \cos \varphi,$$

$$U_e^2 = U_R^2 + U_Z^2 + 2RIU_Z \cos \varphi,$$

$$P = UI \cos \varphi = \frac{U_e^2 - U_R^2 - U_Z^2}{2R}.$$

A keresett teljesítmény a voltmérőkről leolvasott értékekből és az ellenállásból határozható meg.

Ezt az eljárást főként nagyfrekvenciás teljesítményméréshez alkalmazzák, mert a feszültségmérés felső határfrekvenciája jóval nagyobb, mint a teljesítménymérővel elérhető érték.



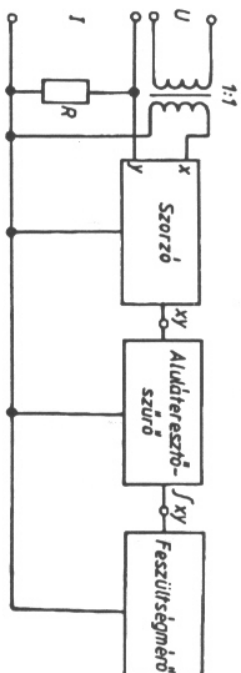
119. ábra. Teljesítménymérés három voltmérővel

10.3.3. Elektronikus teljesítménymérő

Az elektronikus teljesítménymérő megoldására számos elvi kapcsolás kínálkozik, hiszen „csak” egy feszültség és egy áram szorzatának átlagértékét kell mérni. A műszerek a Hall-szondás és analóg szorzó áramkörös szorzási megoldásúak. Működési elvük megegyezik (120. ábra), köztük a különbség a szorzó kialakításában van.

A teljesítménnyel arányos feszültséget analóg elektronikus vagy digitális feszültségmérővel méri.

Így a teljesítménymérés frekvenciatartománya $0 \dots 10$ MHz között van, pontossága $0,1 \dots 1\%$.

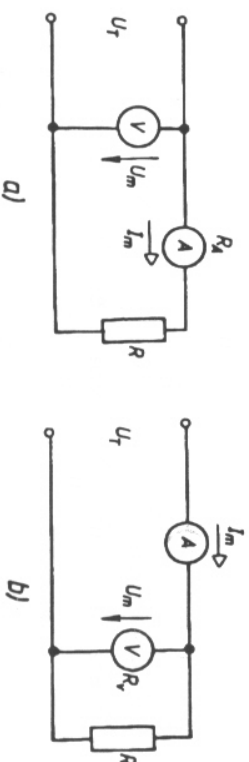


120. ábra. Elektronikus teljesítménymérő tömbvázlata

10.4. Ellenállásmérés

10.4.1. Ellenállásmérés feszültség- és áramméréssel

A volt- és ampermérős módszer esetén az ellenállás meghatározásához az Ohm-törvényt használjuk fel. Megmérjük az ellenállás sarkain levő feszültséget és a rajta átfolyó áramot, s a kettő hányadosából az ismert összefüggés alapján számítjuk az ellenállás értékét. A mérés a 121a) és a 121b) ábrán látható módon állítható össze.



121. ábra. Ellenállásmérés kapcsolása

Mindkét megoldásnál a műszerek belső ellenállása rendszeres hibát okoz. Az első esetben [121a) ábra]:

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{I_m R + I_m R_A}{I_m} = R + R_A.$$

A mért érték tehát a ténylegesnél nagyobb lesz, a mérés eredményét az árammérő belső ellenállásával korrigálni kell.

A második esetben [121b) ábra]:

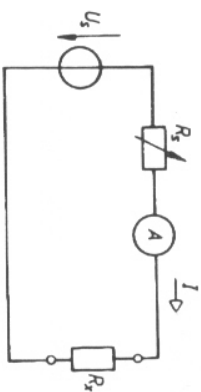
$$R_m = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U_n}{I_R + I_V} = R - \frac{R_m^2}{R_V - R_m},$$

azaz az árammérő az ellenállás és a voltmérő áramának összegét méri.

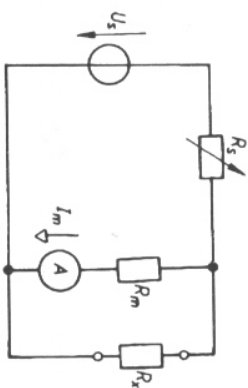
10.4.2. Közvetlen ellenállásmérők

a) *Soros ohmmérő*

A módszer kapcsolási vázlatát a 122. ábrán látható.



122. ábra. Soros ohmmérő kapcsolása



123. ábra. Párhuzamos ohmmérő kapcsolása

Az R_x ellenállás bekötése után a műszeren átfolyó áram a következő lesz:

$$I = \frac{U_s}{R_x + R_s}.$$

Mivel az áram egyértelműen függ a mérendő ellenállástól, a műszert közvetlenül ellenállásként skálázhatjuk. Az R_s ellenállás értékét úgy választják meg, hogy $R_x = 0$ esetben az ampermérő végkiterítésbe kerüljön adott U_s segédfeszültséggel. A segédfeszültség változásakor R_s értéket ismét be kell állítani.

A műszer tehát 0-tól ∞ -ig (végtelenig) mér, fordított skálájú.

b) *Párhuzamos ohmmérő*

Kapcsolási vázlatát a 123. ábrán látható.

A műszeren átfolyó áram értéke:

$$I_m = \frac{U_s}{R_s + (R_m \times R_x)} \cdot \frac{R_x}{R_x + R_m}.$$

A kifejezésből látható, hogy ha

$$R_x = 0, \quad \text{akkor} \quad I_m = 0,$$

$$R_x = \infty, \quad \text{akkor} \quad I_m = \frac{U_s}{R_s + R_m}.$$

Tehát a párhuzamos ohmmérő végtelen mérés határú, és az $R_x = 0$ értékekhez a skála kezdőpontja tartozik.

Mindkét közvetlen ohmmérőről elmondhatjuk, hogy a mérés eredménye a segédfeszültség állandóságától függ. Mindkét mérési elv megvalósítható a korábban megismert kereszttekercses műszerrel, mely ezt a hátrányt kiküszöböli.

10.4.3. Ellenállásmérés feszültség-összehasonlítással

A feszültség-összehasonlító módszer alkalmazásakor az ismeretlen ellenálláson és a vele sorba kötött ismert ellenálláson eső feszültségeket hasonlítjuk össze (124. ábra).

Az ábra jelöléseivel:

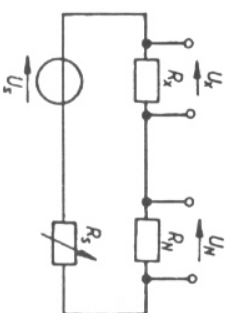
$$U_x = IR_x,$$

$$U_N = IR_N,$$

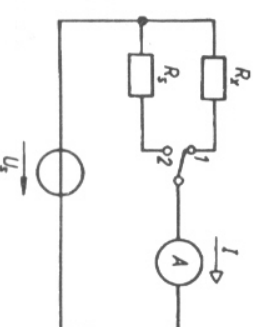
$$R_x = \frac{U_x}{U_N} R_N.$$

azaz

A mérés hibája a normállenállás (R_N) és a feszültségmérés hibájától, valamint az átfolyó áram állandóságától függ.



124. ábra. Ellenállásmérés feszültség összehasonlításával



125. ábra. Ellenállásmérés áram összehasonlításával

10.4.4. Áram-összehasonlítással

A mérés kapcsolása a 125. ábrán látható.

A kapcsoló I állásában az ampermérő árama:

$$I_1 = \frac{U_s}{R_x + R_A},$$

2 állásában pedig:

$$I_2 = \frac{U_s}{R_N + R_A}.$$

Ezekből:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_N + R_A}{R_x + R_A}.$$

Ha $R_x \gg R_A$ és $R_N \gg R_A$, akkor

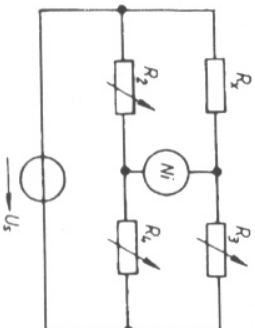
$$R_x = \frac{I_2}{I_1} R_N.$$

A módszer láthatóan rendszeres hibát tartalmaz, mely csak nagy ellenállások mérésekor hanyagolható el.

10.4.5. Wheatstone-híd

A feszültség-összehasonlító módszernél az ismeretlen ellenálláson és a vele sorba kötött ismert ellenálláson eső feszültségeket mérjük meg feszültségmérővel, és a mért értékekből számítottuk az ellenállást (1. a 124. ábrát).

Változtassunk a mérésen oly módon, hogy az ismeretlen ellenálláson eső feszültséggel egy feszültségosztó által leosztott, ismert nagyságú feszültséget kapcsolunk szembe. Az így kapott mérőkapcsolás az ellenállásmérésekre igen gyakran használt Wheatstone-híd (126. ábra).



126. ábra. Wheatstone-híd kapcsolása

A feszültségosztó R_2 tagján eső feszültséget addig változtatjuk, míg az $A-B$ pontok közé kötött igen érzékeny árammérő – galvanométer – nulla

áramot nem jelez. Ha a galvanométeren nem folyik áram, az azt jelenti, hogy az A és B pontok potenciálja megegyezik, a köztük levő feszültség nulla, tehát:

$$U_s \frac{R_x}{R_x + R_3} = U_s \frac{R_2}{R_2 + R_4},$$

azaz

$$R_x R_4 = R_2 R_3,$$

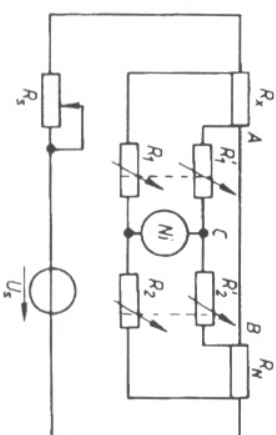
$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}.$$

A Wheatstone-hídat laboratóriumi és üzemi méréshez készítik. A laboratóriumi méréshez az R_3 , R_4 fokozatokban, R_2 pedig dekadikusan állítható. Üzemi műszerekben R_3 állítható fokozatonként és R_2 , R_4 pedig változtatható ellenállás (potencióméter), melyről ezek a műszerek a csúszóhuzalos Wheatstone-híd nevet kapták.

A Wheatstone-híd mérési tartományja $10 \Omega \dots 1 \text{ M}\Omega$ között van, az ellenállásmérés pontossága $0,1 \%$.

10.4.6. Thomson-híd

A Wheatstone-híd a bekötővezetékek ellenállása és az átmeneti ellenállások miatt kis (10Ω -nál kisebb) ellenállások mérésére nem alkalmas. Ezt a hátrányt küszöböli ki a Thomson-híd, amelynek kapcsolását a 127. ábrán láthatjuk.



127. ábra. Thomson-híd kapcsolása

Az $A-B$ vezetékcsakasszon – amelynek ellenállása összemérhető a keresett ellenállásértékkel – eső feszültséget az R_1 , R_2 ellenállások éppen az R_x/R_N arányában osztják, így

$$\frac{R_x}{R_N} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{és}$$

$$\frac{R_1'}{R_1} = \frac{R_2'}{R_2}$$

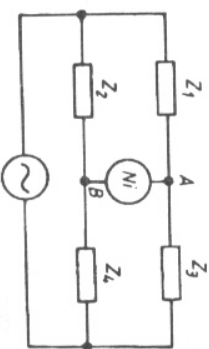
Ezt a második feltételt az $R_1 - R_1'$ és az $R_2 - R_2'$ ellenállások mechanikus összekapcsolásával mindenkor biztosítják.

Az R_s ellenállás a hídáramot korlátozza. Az R_s ellenállás-mérési pontosság a beépített ellenállások hibájától és a nullaindikátor érzékenységtől függ. Precíziós kivitel esetén elérheti a 0,1 %-ot. A mérhető ellenállások $10 \mu\Omega \dots 10 \Omega$ tartományba esnek.

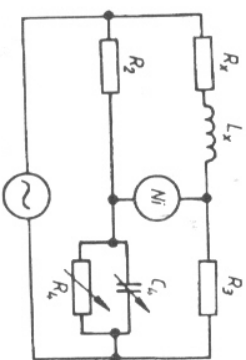
10.5. Impedanciamérés

Induktívitás, ill. kapacitás mérésére számtalan mérési módszert dolgoztak ki. Jelen tanulmányaink során csak a két legelterjedtebb eljárással ismerkedünk meg.

Mindkét módszer hídkapcsolás. A váltakozó áramú hidak általános felépítése megegyezik a Wheatstone-híddal, eltérés abban van, hogy a hídtelemekek nem ohmos ellenállások, hanem impedanciák (128. ábra), és a nullaindikátor feszültségérzékeny műszer.



128. ábra. Váltakozó áramú hídkapcsolás



129. ábra. Maxwell-Wien-híd felépítése

A híd akkor van kiegyenlítve, ha a váltakozó feszültségű nullaindikátor nullát jelez. Ehhez az $A - B$ pontokon levő feszültség nagyságának és fázishelyzetének is egyeznie kell. Ez akkor áll fenn, ha a $|Z_1| |Z_4| = |Z_2| |Z_3|$

$$\text{és} \quad \varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$$

amplitúdó és fázisfeltétel teljesül.

10.5.1. Induktívitásmérés Maxwell-Wien-híddal

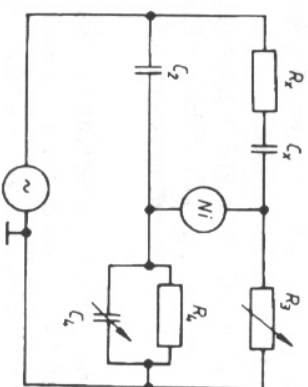
A Maxwell-Wien-híd felépítése a 129. ábrán látható. A híd kiegyenlített állapotában

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4} \quad \text{és} \quad L_x = R_2 R_3 C_4$$

Kiegyenlíteni R_4 és C_4 változtatásával lehet. A mérés hibája elsősorban a kiegyenlítőelemek pontosságától függ. A gyakorlatban elérhető induktívitásmérési pontosság 0,1 %, a veszteségi ellenállás mérésének pontossága 1 %. A mérés kb. 100 kHz frekvenciáig végezhető.

10.5.2. Kapacitásmérés Schering-híddal

A Schering-hídat elsősorban ipari frekvencián (50 Hz-en), nagyfeszültségen alkalmazzák. Kapcsolása a 130. ábrán látható.



130. ábra. Schering-híd kapcsolása

Kiegyenlített állapotában

$$R_x = \frac{C_4}{C_2} R_3, \quad C_x = \frac{R_4}{R_3} C_2,$$

ill. a veszteségi tényező $\text{tg } \delta = \omega R_4 C_4$.

A mérés hibája elsősorban az elemek pontatlanságából ered. A kapacitás mérésnél elérhető pontosság 0,1 %, a $\text{tg } \delta$ mérés hibája ennél nagyobb.

11. Nem villamos mennyiségek villamos jelle alakítása

11.1. Mérőátalakítók

A technológiai folyamatok fejlődése, az ipari termékek mind precízebb és hatékonyabb előállításának igénye a gyártástechnológiai automatizálását tette szükségessé az iparban, így a járműgyártásban is. Az automatizálási folyamatban jelentős szerepet tölt be a mérés, hiszen a szabályozás minőségi jellemzői nagymértékben függenek a mérések sebességétől és pontosságától.

Fontos szerepet kapott a méréstechnika a gépjárművek tökéletesítése során is. Az autók egyre jobb tüzelőanyag-kihasználása, az egyre biztonságosabb menet tulajdonságok kialakítása és nem utolsósorban a vezető és az utasok kényelmének biztosítása, számos jellemző mérését és a mért értékeknek megfelelő beavatkozást tett szükségessé.

A mérendő jellemzők rendkívül sokfélék lehetnek. Ahhoz, hogy egy fizikai mennyiséget mérni lehessen, át kell alakítani közvetlenül mérhető más mennyiséggé. Ezt az átalakítást végző egységet *mérőátalakítónak* vagy *jelátalakítónak* nevezzük.

Tanulmányaink során azokkal a mérőátalakítókkal ismerkedünk meg, amelyek a gépjárművekkel kapcsolatos fizikai mennyiségeket mérik.

A mérőátalakító tehát közvetlen kapcsolatban áll a mérendő mennyiséggel, és az általa szolgáltatott jel révén a mérőkörrel. A fizikai mennyiség, amelyet a jelátalakító átalakít az x_b bemeneti mennyiség, amivé átalakítja az x_k kimeneti mennyiség.

11.2. A mérőátalakítók jellemzői

A mérőátalakítók a bemeneti jellemző hatására a bemeneti mennyiség nagyságától függő kimenőjelet hoznak létre.

Általános elvárás, hogy

- a mérendő mennyiséget ne, vagy csak igen kis mértékben változtassák meg, azaz kis visszahatással legyenek a mérendő mennyiségre;
- a bemenőjelek kismértékű változását is megbízhatóan és jól mérhetően kövessék a kimenőjelek, azaz a mérőátalakító érzékenysége nagy legyen;

- időben gyorsan változó folyamatok is mérhetőek legyenek;

- kimenőjeleik illeszkedjen a jelfeldolgozóashoz.

A jelátalakítók tulajdonságait számértékek formájában a statikus és dinamikus jellemzők adják meg. A *statikus jellemzők* az állandósult állapotbeli paramétereket, a *dinamikus jellemzők* pedig az átalakítóknak a bemeneti jel változása során tapasztalható jellemzőit fejezik ki.

11.2.1. Statikus jellemzők

Az átalakítók be- és kimeneti mennyisége közötti függvénykapcsolatot *karakterisztikának* nevezzük. Ha a bemeneti mennyiségek különböző, de időben állandó értékekhez meghatározzuk a kimeneti mennyiség értékeit, akkor az összetartozó értékpárok a statikus karakterisztikát adják.

A *statikus karakterisztika* rendszerint folytonos függvény. Az átalakítók konstrukciójánál fontos szempont, hogy a statikus karakterisztika lineáris legyen. Ez sajnos nem minden esetben érhető el.

Az egyik legfontosabb statikus jellemző az *érzékenység*. Megadja, hogy adott (x_{b0}) munkapontban egysegnyi bemenőjel-változáshoz mekkora kimenőjel-változás tartozik:

$$E = \left. \frac{dx_k}{dx_b} \right|_{x_{b0}}$$

Igen gyakran a relatív érzékenységet, vagy másképpen az átalakítási tényezőt adják meg:

$$g = \left. \frac{dx_k}{dx_b} \right|_{x_{b0}}$$

Ezzel a mérőszámmal a különböző elven működő, de azonos felhasználási célú átalakítók összehasonlíthatók.

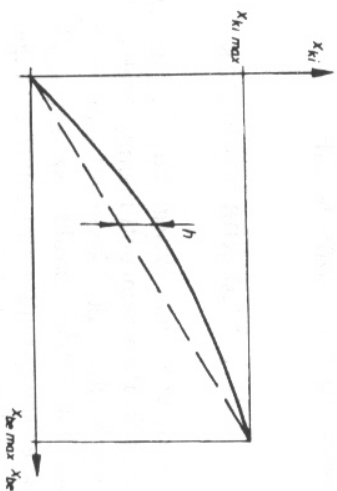
Az ideális és a valóságos statikus karakterisztika eltér egymástól. Az eltérés a statikus karakterisztika hibáival jellemezhető.

A *linearitási hiba* a valóságos karakterisztika és az elméleti karakterisztika eltérésének legnagyobb értékét jelenti az adott mérési tartományban, elméletileg lineáris statikus karakterisztika esetén (131. ábra).

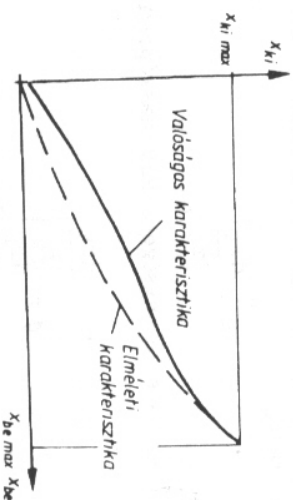
Nemlineáris statikus karakterisztikánál a valóságos és az elméleti karakterisztika legnagyobb eltérését *alakhibának* nevezzük (132. ábra).

Az átalakítóktól elvárjuk, hogy statikus karakterisztikájuk egyértékű függvény legyen, vagyis a bemeneti jellemző egy tetszőleges értékéhez a kimeneti jellemző egyetlen értéke tartozzon. Hiba azonban a mérőátalakítók *hisztérezis tulajdonsága*. A hisztérezis görög szó, amely egyes anyagoknak,

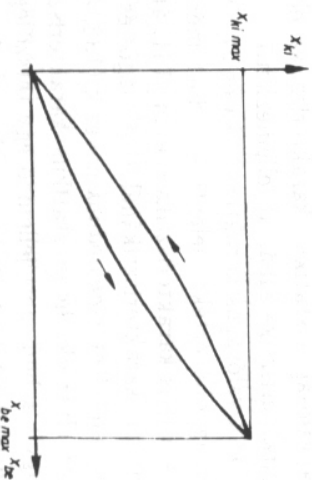
szerkezeteknek, berendezéseknek (tárgyaknak) azt a tulajdonságát jelenti, hogy valamely külső hatás által előidézett változás a tárgy előző állapotától függ. A hiszterézisre tehát az jellemző, hogy növekvő bemenőjelekhöz tartozó kimenőjel értéke más, mint csökkenő bemenőjelek esetén (133. ábra).



131. ábra. Lineáris statikus karakterisztika hibájának értelmezése



132. ábra. Alakhiba értelmezése

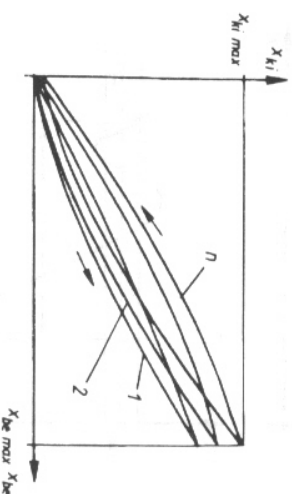


133. ábra. Hiszterézishiba értelmezése

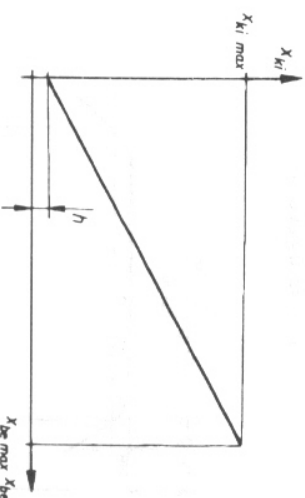
Ismétlődési hibáról akkor beszélünk ha az egymást követő mérések során a mérési eredmények eltérnek egymástól (134. ábra).

A nullaponthiba a nulla bemenőjelhez tartozó kimenőjel értékét jelenti (135. ábra)

Az érzékelők alaphibáit az előírt körülményektől eltérő felhasználás során (pl. a megengedettől eltérő hőmérséklet vagy nagyobb rezgés stb.) tovább növelhetjük. Az így keletkező hiba a járulékos hiba.



134. ábra. Ismétlődési hiba értelmezése



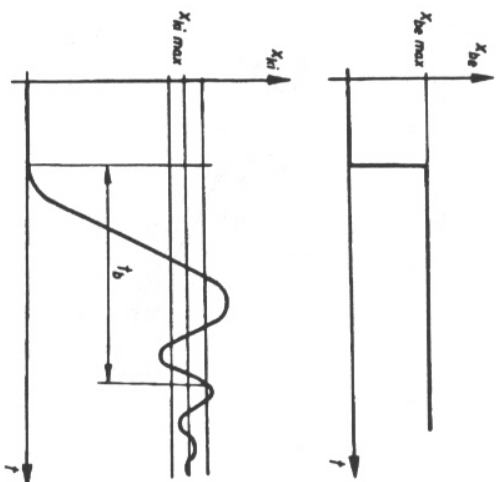
135. ábra. Nullaponthiba értelmezése

11.2.2. Dinamikus jellemzők

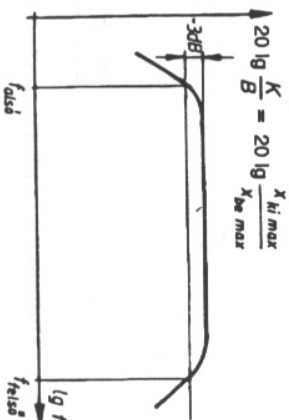
Időben gyorsan változó bemenőjelek esetén az átalakító viselkedése csak a dinamikus paraméterekkel írható le.

Az alkalmazásakor a legjelentősebb eset, amikor a bemeneti jel igen rövid idő alatt meredeken nagy értékre változik. Ezt a tulajdonságot az *átmeneti függvény* jellemzi, mikor is a bemeneti jel ún. *egységugrás* alakú, s az erre adott kimeneti jelváltozást vizsgáljuk (136. ábra).

Az átalakító kimenete az állandósult állapotot rendszerint lengések után éri el. Azt az időt, ami alatt a kimeneti jel értéke a meghatározott hibahatáron (pl. a kimeneti jel 5 %-a) belülre nem kerül, *beállási időnek* (t_b) nevezzük.



136. ábra. Egységugrás alakú bemenőjel és az átalakító által adott válaszfüggvény



137. ábra. Átalakítók frekvenciafüggése

A felhasználás szempontjából fontos ismerni, hogy az átalakító gyorsan változó bemenőjeleket is képes-e átalakítani. Erről az *amplitúdó karakterisztika* ad információt. A szinuszosan változó bemeneti jelet a kimenet változása valamilyen fáziskéséssel követi:

$$x_{be}(t) = B \sin 2\pi ft,$$

$$x_{ki}(t) = K \sin(2\pi ft + \varphi),$$

és

$$a = \frac{K}{B}.$$

Azt a frekvenciahatárt, amelynél a csökkenése eléri a -3 dB értéket, azaz az állandó érték $\sqrt{2}$ -ére csökken, az átalakító *alsó*, ill. *felső határfrekvenciájának* hívjuk (137. ábra).

12. Nem villamos mennyiségek mérőátalakítói

12.1. Ellenállás-változáson alapuló átalakítók

Azokat az átalakítókat nevezzük ellenállásos átalakítóknak, amelyek a bemeneti jellemzőt ellenállás-változássá alakítják át.

Az ellenállásos átalakítóknak több típusa ismeretes, amelyeket a következőkben ismertetünk.

12.1.1. Mérőérintkezők

Az átalakító olyan rugós érintkezőpárból áll, amely elmozdulás vagy szögelfordulás hatására villamos áramkört zár, ill. nyit. A villamos áramot figyelve az jelzi a mérőérintkezőpár állapotát. Az ilyen átalakítókat nemcsak elmozdulás, ill. szögelfordulás meghatározására használhatjuk, hanem minden olyan fizikai jellemző (pl. nyomás, hőmérséklet) diszkrét értékének megváltozását is detektálhatjuk, amelyeket elmozdulássá lehet átalakítani.

A mérőérintkezőpár fizikai működéséből következik, hogy a bemeneti jellemző folyamatos értékváltozását csak szakaszosan képes érzékelni, így elsősorban határértéket jelez. Alkalmazása tehát ott előnyös, ahol nincs szükség a bemeneti jellemző tetszőleges időpontban mért értékére, csupán változásának határait szükséges ismerni, és ahol a korlátozott pontosság elegendős. Így szerepe elsődlegesen egyszerűbb automatizálási folyamatokban (szintszabályozás, hőmérsékletszabályozás stb.) kiemelt.

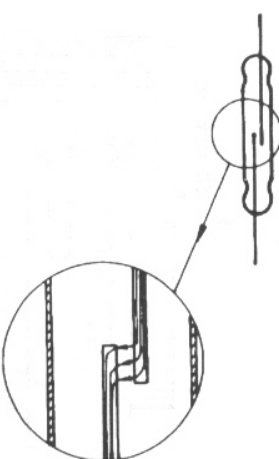
Az érintkezők anyagával szemben igen nagy követelményeket támasztunk. Az érintkező rugólapra szegecselt vagy hegesztett, a villamos áramot jól vezető volfrámból, ill. nemesfémötvözetből (arany-ezüst-platina, platina-palládium) készül. Alakja lehet csúcsos, lapos, ill. lencse formájú. A különleges anyag használatát az áramkör zárásakor (nyitásakor) keletkező ív okozta korróziós hatás, a magas hőmérséklet és a kopásállósági igény indokolja.

A mérőérintkezős átalakítókkal szemben különleges pontossági igényt nem támaszthatunk. Az érintkezők beállítása körülményes, a gyakori kapcsolás hatására bekövetkező kifáradás miatt az érintkezők elállítódnak, to-

vábbá a megszakításkor keletkező villamos ív beégést okozhat, ami kapcsolási bizonytalanságot okozhat.

Az érintkezők különleges kialakítása a reed-csőves érintkező.

A reed-cső üvegcsőbe forrasztott rugalmas, ferromágneses anyagból készült érintkezőpár (138. ábra).



138. ábra. Reedcső szerkezete

Az üvegcsőben vákuum vagy védőgáz van. Nyugalmi állapotban az érintkezőpár nyitott. Mágneses tér hatására az érintkezőfelületek között zárt áramú erő keletkezik, s ha ennek nagysága nagyobb, mint a lemezek rugóereje, akkor az érintkező záródik. Így tehát a reed-csőves érintkező külső állandó mágnes közelítésével egyszerűen működésbe hozható. A reed-csőves érintkezőt széles kapcsolható feszültségtartomány (0 ... 1000 V), gyors működés (0,3 ... 1 ms) és hosszú élettartam (10^{10} ... 10^{12} kapcsolás) jellemzi.

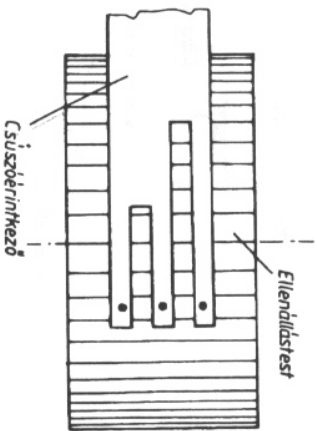
12.1.2. Csúszóérintkezős átalakítók

A csúszóérintkezős mérőátalakítók bemeneti jele elmozdulás vagy szögelfordulás, kimeneti jellemzője ellenállás. A be- és kimeneti mennyiségek közötti függvénykapcsolat folytonos vagy lépcsőzetes aszerint, hogy milyen az átalakító szerkezete. A csúszóérintkező és az ellenálláshuzal valamelyik végpontja közötti ellenállás nagysága a csúszóérintkező helyzetének függvénye.

Szerkezetileg lapos vagy hengeres szigetelőtestre egy rétegben egymás mellé, szorosan felcsévélt ellenálláshuzalból és erre nyomódó csúszóérintkezőből épülnek fel. Az ellenállástest lehet egyenes vagy körívben hajlítot, attól függően, hogy az átalakító elmozdulást vagy szögelfordulást alakít át. Kör alakú kivétel esetén a szögelfordulás általában 270° , de precíziós kivitelű átalakítónál $10 \dots 40$ -szer 360° is lehet. Ez utóbbiak neve *helikális potencióméter* (helipot).

A 270° -os potencióméteres átalakító felépítése közelítőleg megegyezik a szokásos huzal-potencióméterével, de a mechanikai szerkezete stabilabb. A

csúszóerintkező és az ellenállástest között az összeszorító erő, így a súrlódási erő kicsiny. Emiatt előfordulhat, hogy mechanikai rezgések hatására a csúszóerintkező elválk a huzaltól. Ez ellen úgy védekeznek, hogy a csúszóerintkezőt 2-3 különböző hosszúságú (különböző mechanikai rezonanciafrekvenciájú) lemezből készítik, így a villamos kapcsolat megszakadása elkerülhető (139. ábra).



139. ábra. Potenciométer csúszkakialakítása

A lineáris karakterisztikájú potenciométer α szögelfordulása és R ellenállása között fennáll a következő összefüggés (amelyben k egy arányossági tényező):

$$dR = k d\alpha.$$

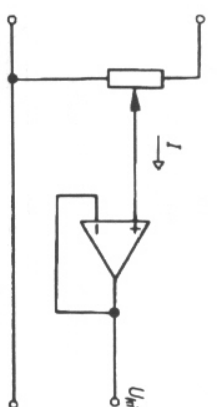
Amennyiben a potenciométer legnagyobb α szögelfordulásához tartozó ellenállásérték R_{\max} , akkor a g relatív érzékenység:

$$g = \frac{dR}{R_{\max}} \cdot \frac{1}{d\alpha}.$$

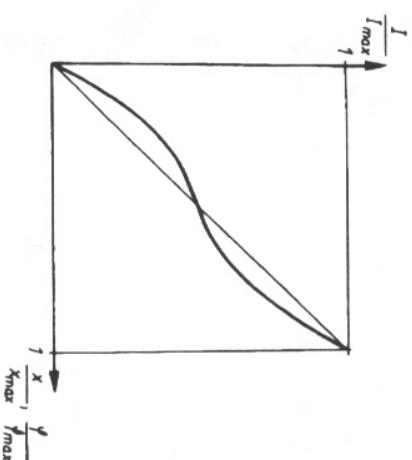
A csúszka helyzetének megállapítására vagy a potenciométer egyik vége és a csúszka közötti ellenállást, vagy feszültségosztóként alkalmazva a csúszka feszültségét kell megmérni. Méretekor (140. ábra) a csúszkán folyó áram relatív megváltozása az áramosztás miatt nem lesz lineáris (141. ábra).

A potenciométereknél gondot okozhat az ún. *lépcsőzetesség*.

A mérőátalakító tengelyének forgatása közben a csúszóerintkező az ellenállást menetenként kapcsolja az áramkörbe, így a szögelfordulás és az ellenállás-változás között a függvénykapcsolat nem folytonos. A 270°-os átalakítóknál a lépcsőzetességi hiba 0,1 % körüli érték.



140. ábra. Feszültségosztó mértékcapcsolása



141. ábra. Terhelt feszültségosztó karakterisztikája

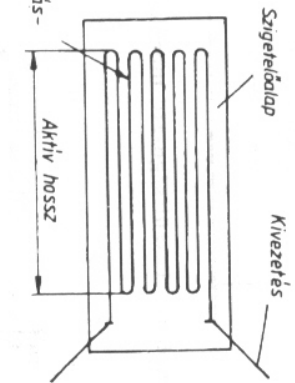
12.1.3. Tenzometrikus átalakítók

A tenzometrikus átalakítók mechanikai deformációt (alakváltozást) alakítanak át ellenállás-változássá. Fizikai működésük azon alapszik, hogy az ellenálláshuzal – amelyet alkalmas módon rögzítenek a deformálódó anyag felületére – a deformáció hatására megváltoztatja a hosszát (keresztmetszetét is), ami ellenállásának megváltozását okozza.

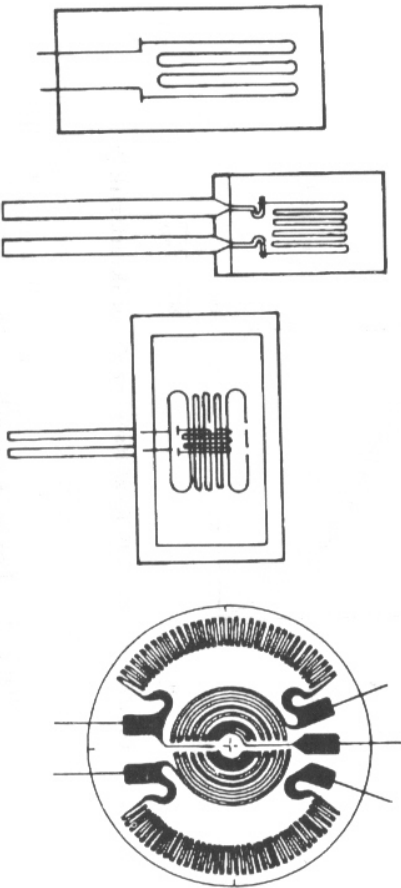
Leggyakoribb formája a *nyúlásmérő bélyeg*. Az ellenállás alapanyaga lehet fém vagy félvezető. A fém alapú nyúlásmérő bélyeg rendkívül vékony (néhány μm) átmérőjű huzalból készül, amelyet a megfelelő rögzítés végett jó szigetelőképeségű alapanyagra ragasztanak, ill. műanyagba ágyazva készítenek. A korszerűbb kiviteleknel (fóliabélyeg) az ellenállásanyagot fóliaporlasztással vagy galvanikus eljárással viszik fel a hordozó alapanyagra.

A hatásvos hossz növelése céljából az ellenálláshuzalt többszörösen hajlított módon, ún. *meandervonalban* helyezik el (142. ábra).

Kivitelük célszerűen a mérni kívánt jellemzőhöz igazodik. A 143. ábrán különböző kialakítású, s így más és más mérési feladatot megoldó nyúlásmérő bélégeket látunk.



142. ábra. Nyúlásmérő bélveg felépítése



143. ábra. Különböző kialakítású nyúlásmérő bélégek

Ismeretesek olyan megoldások is, amelyeknél egyetlen alaplемеzre több mérőbéléget helyeznek el (144. ábra).

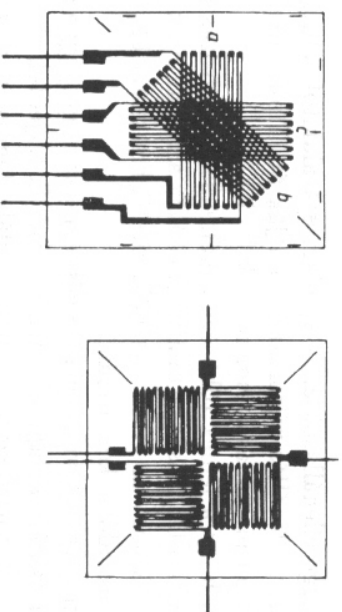
Mérés céljából a bélégeket felragasztják a mérendő felületre, így a test méretváltozását hűen követi. A mérés pontosságát a ragasztás minősége is meghatározza. Ragasztóanyagok – a bélveg alapanyagától függően – szerves vagy többkomponensű polimerizálódó anyagok lehetnek. Célszerű a mérőbéléget gyártó cég által ajánlott ragasztót alkalmazni.

A nyúlásmérő bélégek átalakítási tényezője, az ún. *gauge-faktor*:

$$g = \frac{dR}{R \cdot dl}$$

Értéke a bélveg anyagától függően 0,3 (manganin); 12,1 (nikkel) - vagy 300 (félvezető alapú) abszolútérték-tartományon belül változó. A szokásos kialakítású fém nyúlásmérő bélégek faktora $g = 2$.

A mérőbélveg kiválasztásakor tekintettel kell lenni a hőmérséklet hatására bekövetkező ellenállás-változásra is. E szempontból a manganin alapanyagú bélégek a legkedvezőbbek, a félvezető alapúak pedig a legkedvezőtlenebbek.



144. ábra. Több nyúlásmérő bélveg egy alaplемеzen

12.1.4. Piezorezisztív átalakítók

Piezorezisztív vagy másképpen nyomásfüggő ellenállásokon azokat az ellenállásokat értjük, amelyek nyomást alakítanak át ellenállás-változássá. E csoportba tartoznak az átmenneti ellenállásos átalakítók is, amelyeknél a nyomás hatására a szemcsés szerkezetű szilárd vezetőanyagok érintkező felületrészei változnak meg, és ennek hatására jön létre az ellenállás-változás.

A mérés technikában használatos piezorezisztív ellenállások a külső erőt vagy nyomást a kristályszerkezet deformációján keresztül a fajlagos ellenállás megváltozására alakítják át. A fajlagos ellenállás változása az alkalmazott anyagtól függően lehet növekvő vagy csökkenő (pozitív vagy negatív).

Az alkalmazott anyagok lehetnek fémek vagy félvezetők.

A fémekről megállapítható, hogy a nyomás hatására bekövetkező ellenállás-változás rendkívül kis érték, vagyis az átalakító $E = dR/dp$ érzékenysége igen kicsiny, ami az alkalmazásukat korlátozza.

A félvezető piezo-ellenállások félvezető egykristályból állnak. Fajlagos ellenállásuk irányfüggő (anizotrop), így a különböző kristálytani irányokban kivágott félvezető lapkák nyomásfüggő tulajdonságai egymástól eltérnek.

A fajlagos ellenállás változásának nagysága és előjele függ a félvezető anyagától, a szennyezettség mértékétől és fajtájától (p vagy n típusú félvezető), valamint a terhelés irányától.

A félvezető ellenállások átviteli tényezője nagyságrendekkel nagyobb a fémellenállásokénál és ez szélesebb körű alkalmazásukat teszi lehetővé.

12.1.5. Hőmérsékletfüggő ellenállások

Hőmérsékletfüggő ellenállások azok a villamos átalakítók, amelyek a hőmérséklet változását ellenállás-változássá alakítják át. Típusa szerint csak fém és félvezető alapú megoldások ismeretesek.

Ismeretes, hogy a fémek többsége a hőmérséklet-változás hatására változtatja villamos ellenállását. Átalakítók céljára azonban csak azok felének meg, amelyeknek nagy az érzékenyséjük, kicsi a histerézisük, karakterisztikájuk időben állandó és korrozíóálló.

E követelményeknek viszonylag kevés fém tesz eleget, így a gyakorlatban csak a *platina* és *nikkel* alapú ellenállás hőmérők terjedtek el.

A működésüket leíró egyenlet exponenciális függvény, amelyet az alábbi sorral szokás közelíteni:

$$R_T = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T + \alpha_2 \Delta T^2 + \dots + \alpha_n \Delta T^n),$$

ahol R_0 a T_0 hőmérséklethez tartozó ellenállásérték, a $\Delta T = T - T_0$, α_i értékek állandók.

Kisebb mérési pontosság esetén:

$$R_T = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T).$$

Az átalakító érzékenysége vagy másképpen hőmérsékleti együtthatója:

$$\frac{dR_T}{R_0} = \frac{1}{\Delta T} \text{ } 1/^\circ\text{C}.$$

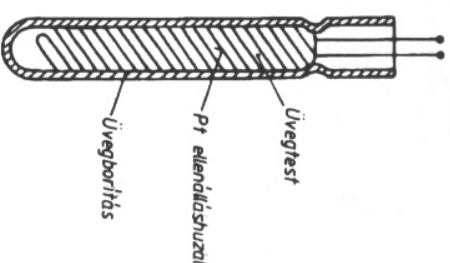
Értéke platina esetén: $3,94 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^\circ\text{C}$,
nikkel esetén: $6,17 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^\circ\text{C}$.

100°C -nál magasabb hőmérséklet mérésekor már indokolt a karakterisztikát leíró egyenlet magasabb fokszámú tagjainak figyelembevétele is.

Az ellenállás-hőmérőkkel mérhető hőmérséklet-intervallum korlátozott. Ez nikkel alapú ellenállás-hőmérővel $-60 \dots +180^\circ\text{C}$, platinánál $-200 \dots +700^\circ\text{C}$.

A hőmérsékletfüggő ellenállásokat a mérési feladatnak megfelelően készítik el. Az ellenállás vékony huzal ($20 \dots 50 \mu\text{m}$ átmérőjű), amelyet alkalmas tartószerkezettel rögzítenek. Azokon a helyeken, ahol korrozíó vagy szennyezés nem fordul elő és nincsenek durva mechanikai behatások, az ellenálláshuzalon nincs védőburkolat. Így ezek beállási ideje a jó termikus kapcsolatot következtében igen rövid ($0,05 \text{ s}$).

Kémiai és mechanikai behatások esetén a mérőellenállást kerámia- vagy üvegburkolattal és ezt fedő fémtokkal védeni kell (145. ábra).



145. ábra. Ellenállás-hőmérő felépítése

Az ellenállás-hőmérők mérőáramát a sajátmelegedés miatt kis értéken kell tartani. A mérés pontosságát növelhetjük, ha a mérőáramot $0,1 \dots 10 \text{ mA}$ körüli értékre korlátozzuk.

A fém alapú ellenállás-hőmérőkkel igen nagy ($0,01\%$) mérési pontosság érhető el.

A félvezető alapú ellenállás-hőmérők a *termisztorok*.

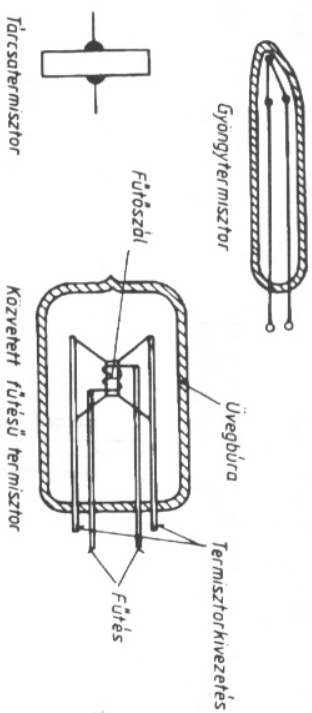
A termisztorok különböző fém-oxidokból, ill. ezek keverékéből álló félvezető ellenállások.

Kivétel szempontjából igen sokféle lehetnek: tárcsa, rúd, gyűrű, fólia, gyöngy, szál stb. termisztorok léteznek. Néhány jellegzetes termisztor kiviteli formáját a 146. ábra szemlélteti.

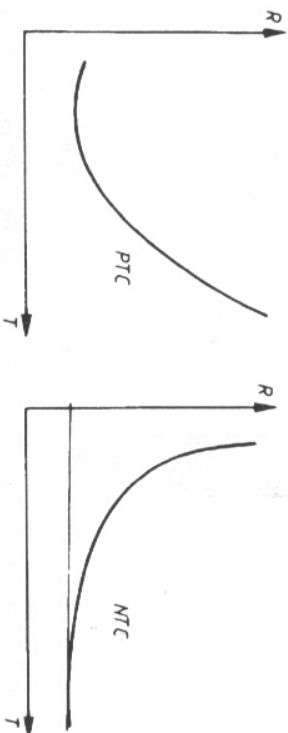
A termisztorok ellenállás-változása jelentősen – egy nagyságrenddel – nagyobb, mint a fém ellenállás-hőmérőké, így a termisztoros hőmérséklet-mérő kapcsolások érzékenysége jelentős.

Az ellenállás-változás jellege szerint pozitív hőmérsékleti együtthatójú (PTK) és negatív hőmérsékleti együtthatójú (NTK) termisztorokat különböztetünk meg (147. ábra).

Hátrányuk – a karakterisztika kismértékű időbeli változásán túl – a nemlineáris karakterisztika. Ezen lineárizáló kapcsolásokkal, a termisztorral sorosan, ill. párhuzamosan kapcsolt ellenállásokkal lehet segíteni.



146. ábra. Termisztorok kialakítási formái



147. ábra. Termisztorok karakterisztikája

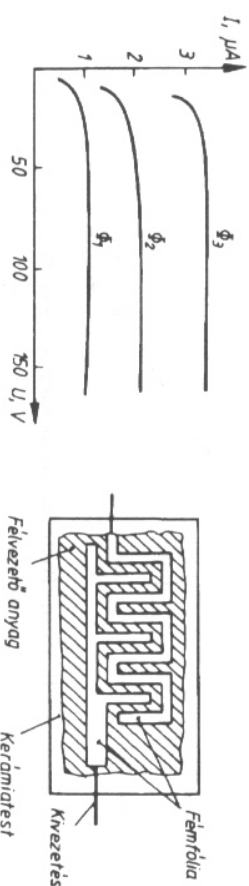
12.1.6. Fotoelektromos érzékelők

A fotoelektromos érzékelők fényérzékelő elemek, amelyekben a beeső fényenergia az elektronok mozgási energiájává alakulva változtatja meg a fotoérzékelő ellenállását. A külső fotoelektromos hatáson alapuló érzékelőknél (fotocellák) a fényenergia közvetlenül a fémből elektronok lépnek ki, míg a belső fotoelektromos hatáson alapulóknál (fotoellenállások) a fényenergia hatására az érzékelő térrácsában elektronok szabadulnak fel, amelyek a vilamos vezetőképességet megváltoztatják.

A fotocella gáztöltésű vagy vákuumban elhelyezett kételektrodás cső. Az elektródák közül a katód bárium- vagy cézium-oxid bevonatú fémlap, melyből már kis energia hatására is elektronok lépnek ki. Előtte van az anód,

ami rendszerint egyenes vagy hajlított fémhuzal. Az érzékelő helyes működésének az a feltétele, hogy a katódhoz képest az anódra pozitív feszültség kapcsolódjon.

A katód – a megvilágítás hatására – elektronokat emittál, amelyek a villamos tér hatására a pozitív potenciálú anódra jutva létrehozzák a fotoáramot. Vákuumcellák anódfeszültség-fotoáram karakterisztikáit (a megvilágítással paraméterezve) a 148. ábrán láthatunk.



148. ábra. Fotocella karakterisztikája

149. ábra. Fotoellenállás kialakítása

A karakterisztikán látható, hogy a cella árama gyakorlatilag független az anód-katód feszültségtől, csak a Φ fényárammal, ill. a megvilágítással arányos.

A *fotoellenállások* belső fotoelektromos elven alapuló eszközök. A félvezetőknél azt a tulajdonságát használják fel, hogy vezetőképességük a besugárzás hatására növekszik. Kadmium-szulfidból (CdS), kadmium-szelenidből (CdSe), indium-arsenidből (InAs), indium-antimonidból (InSb), telluridból (Te) vagy különböző ólom-sókból, ill. félvezető anyagokból készülhetnek.

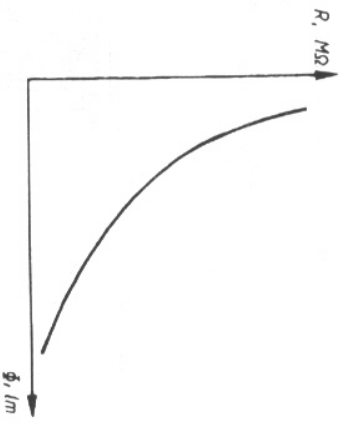
Rendkívül sokféle kialakításuk ismeretes. Közülük egy lehetséges megoldást a 149. ábra szemléltet.

A fényellenállások megvilágítás nélküli (sötét) és a napfényes megvilágításon mérhető ellenállásának hányadosa több nagyságrendet tehet ki (néhány MΩ-tól néhány Ω-ig terjedhet, 150. ábra).

Hátrányuk egyrészt az, hogy a megvilágítás-ellenállás karakterisztika nem lineáris, másrészt jelentős a hőmérsékletfüggésük.

A fotoellenállások speciális csoportját alkotják az ún. *zárvértegelemek*, vagyis a fotodiódák és a fototranzisztorok. Ha a germánium- vagy szilícium-kristályból létrehozott rétegdióda pn átmenetét fény éri, akkor a félvezető eszköz fotoellenállásos jelleget mutat. Amennyiben a fotodiódákra záró irányú feszültséget kapcsolunk, a megvilágítás a záró irányú áramot megváltoztatja.

A fotoellenállások a különböző hullámhosszúságú fény hatására különbözőképpen reagálnak, azaz érzékenységük a sugárzás hullámhosszától is függ.



150. ábra. Fotoellenállás ellenállás-változása

12.1.7. Ellenállásos átalakítók mérőkörrei

Az eddig megismert ellenállásos átalakítók villamos paraméterei elvileg bármilyen ellenállás-mérési módszerrel meghatározhatók. A mérés technikai gyakorlatban azonban csak azok terjedtek el, amelyek a felhasználási követelményeknek egészében vagy részben elegendő tesznek.

E követelmények a következők:

- előírt pontosság,
- megfelelő érzékenység,
- szakaszos, ill. folyamatos mérés,
- hordozható vagy helyhez kötött kivitel,
- statikus, dinamikus mérés,
- széles frekvenciatartomány.

Az említett követelményeket a következő mérés módszerek elégítik ki:

a) Árammérés állandó feszültségű táplálással

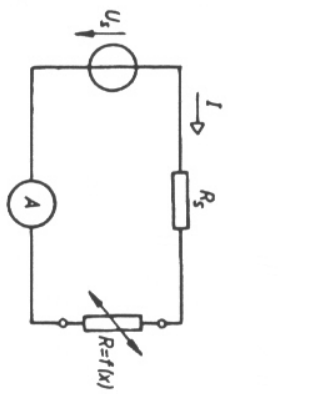
A változó értékű ellenállást állandó feszültséggel táplált áramkörbe (feszültséggenerátoros táplálás) kötjük (151. ábra).

A körben folyó áram arányos az ellenállás-változás meghatározható. A mérési módszerek valamelyikével az ellenállás-változás meghatározható. A kapcsolást számos hátrányos tulajdonsága ellenére egyszerűsége miatt alkalmazzák.

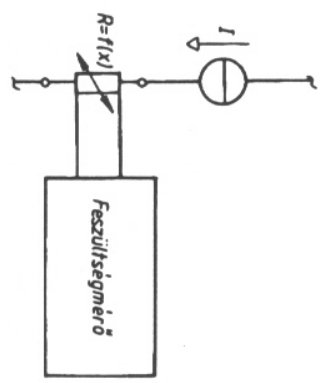
b) Feszültségmérés állandó áramú táplálással

Áramgenerátoros táplálás esetén az ellenállás-változás feszültségméréssel is meghatározható (152. ábra).

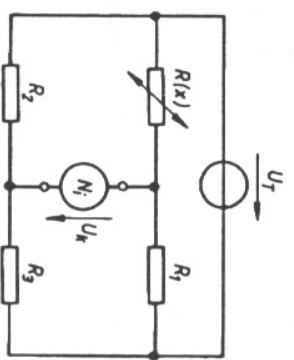
c) Wheatstone-hidas, nullamódszeres mérés
A mérőhídba egy vagy két változó értékű $R(x)$ ellenállás iktatható be (153. ábra).



151. ábra. Árammérés állandó feszültségű táplálással



152. ábra. Feszültségmérés állandó áramú táplálással



153. ábra. Wheatstone-híd

A mérőellenállásokat azonos irányú paraméterváltozás esetén a szemben levő, ellentétes változás esetén azonos hídágakba kell kapcsolni. A híd kiegyenlítése a többi – rendszerint dekadikusan változtatható – ellenállással lehetséges.

d) Wheatstone-hidas, kitéréses módszer

A leggyakoribb mérőáramkör. Felépítése megegyezik a 153. ábrán felüntetett kapcsolással, de a nullaindikátor helyett egyen-, vagy váltakozó feszültségmérőt alkalmazunk. A mérőhíd egy, két és négy aktív elemes mérésre is használható. Minthogy a kimeneti feszültség lineáris függvénye a tápfeszültségnek, ezért a híd tápfeszültségét vagy áramát stabilizálni kell.

e) Ellenállásmérés kereszttekercses műszerrel

Kisebb pontossági igény mérési módszere a kereszttekercses hánnyados-mérővel való ellenállásmérés. Amint azt a korábbiak során megismertük, e módszer előnye, hogy a tápfeszültség változására kevésbé érzékeny.

12.2. Induktív átalakítók

Induktív átalakítóknak nevezzük azokat az átalakítókat, amelyek a bemeneti fizikai mennyiség hatására induktivitás- vagy kölcsönösinduktivitás-változást hoznak létre.

Az induktív átalakítók bemeneti mennyisége többnyire elmozdulás (méretváltozás), ill. a mágnesses permeabilitás megváltozását létrehozó erőhatás.

Természetesen ezektől eltérő fizikai mennyiség is eredményesen mérhető induktív átalakítókkal, azonban ezeket előzőleg elmozdulássá kell átalakítani.

Az induktív átalakítók kitűnnek viszonylag egyszerű felépítésükkel és kis hőmérsékletfüggésükkel. Tápálásuk 1..10 kHz-es jellel lehetséges. Érzékenyséjük igen nagy, ami megfelelő mérőkapcsolással még növelhető. A kimenőjel szintje sok esetben elegendő a kijelzőműszer közvetlen meghajtására is.

12.2.1. Nyitott mágneskörű átalakítók

Azokat az átalakítókat, amelyekben az indukcióvonalak záródásuk során jelentős részben levegőben, ill. nem ferromágnesses anyagban haladnak, nyitott mágneskörű átalakítóknak nevezzük.

Az egytekercses, nyitott mágneskörű jelátalakító elvi felépítését a 154. ábra szemlélteti.

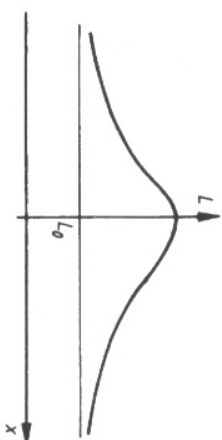
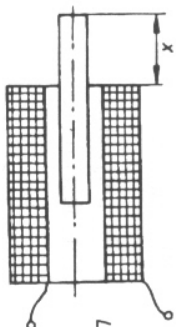
A kör keresztmetszetű szigetelőanyagból készült csévére tekercselik fel az N menetszámú mérőtekercset. A tekercs belsejében helyezkedik el az ugyancsak kör keresztmetszetű vasmag, amelynek a tekercsbeni mozgatása a tekercs induktivitását megváltoztatja.

A karakterisztika az inflexiós pont környezetében jó közelítéssel lineáris, ezért ezt az átalakítót e tartományban célszerű használni.

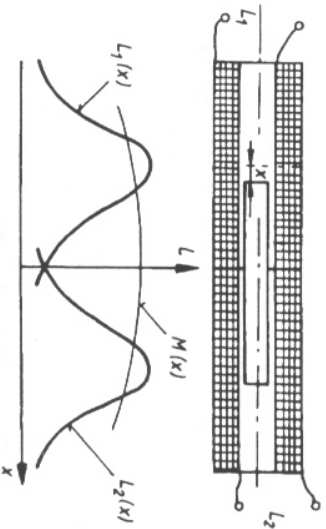
Kedvezőbb tulajdonságú lesz az átalakító, ha egy tekercs helyett, közös vasmaggal, kéttekercses elrendezést differenciálkapcsolásban alkalmazunk (155. ábra).

Amennyiben a differenciáltekercses átalakítókat mérőhídba kapcsoljuk, akkor a vasmag elmozdulásának hatására keletkező kimenőjel közvetlenül mérhető feszültség (156. ábra).

Ha a tekercsek ohmos ellenállását elhanyagoljuk, akkor a kimeneti feszültség az induktivitásértékek különbségével arányos:



154. ábra. Egytekercses, nyitott mágneskörű induktív átalakító



155. ábra. Kéttekercses, nyitott induktív átalakító felépítése és karakterisztikája



156. ábra. Induktív átalakító mérőkapcsolása

157. ábra. Kimeneti feszültség változása induktív átalakító hídba kapcsolásakor

$$U_{ki} = \frac{U_g}{2} \cdot \frac{L_2 - L_1}{L_1 + L_2 + 2M}$$

Megállapíthatjuk, hogy a nulla helyzethez képest a kimeneti feszültség szimmetrikus, valamint a kimeneti feszültség fázisa a nullaátmenetet követően 180°-ot fordul.

A kimeneti feszültség alakulását a vasmag elmozdulásának függvényében a 157. ábra szemlélteti.

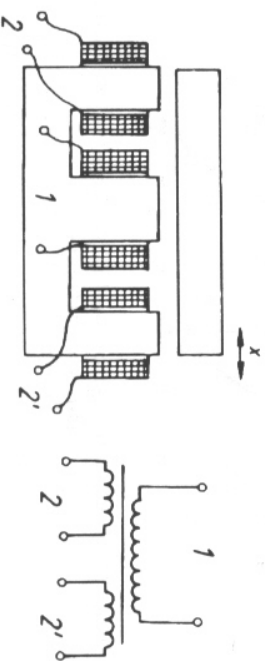
12.2.2. Zárt mágneskörű átalakítók

Azokat az induktív átalakítókat, amelyekben a fluxusvonalak döntő részben ferromágneses anyagon keresztül záródnak, zárt mágneses körű átalakítóknak nevezzük.

A zárt mágneses körű induktív átalakítókat nagy érzékenyséjük és stabilitásuk, valamint a külső zavaró terek iránti érzéketlenségük miatt széles körben alkalmazzák.

Az elérni kívánt induktivitás nagyságát az adott méretű vasmag mellett elsősorban a menetszám határozza meg.

A zárt mágneskörű átalakítók közül a legelterjedtebb az ún. *differenciáltranszformátor*, amelynek lehetséges kialakítását a 158. ábrán látjuk.

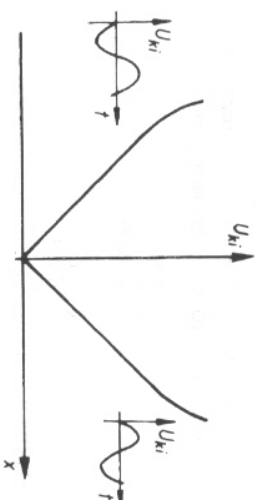


158. ábra. Differenciáltranszformátor kialakítása és kapcsolása

A mágneskör légréses transzformátor, amelynek szekunder tekercsei azonos paraméterűek és szembe vannak kapcsolva egymással. Ha a mozgó vasmag szimmetrikusan helyezkedik el, akkor a két szekunder tekercsben indukált feszültség egyenlő, így a szembekapcsolás miatt a kimeneti feszültség nulla. A vasmag elmozdításakor az egyik szekunder feszültség nő, míg a másik csökken, tehát a kimeneti feszültség is nő.

A kimeneti feszültség fázishelyzete mindig a nagyobb szekunder feszültségével egyezik meg. Ez azt jelenti, hogy a mozgó vasmag elmozdulásakor, a középhelyzeten való áthaladásakor a kimenőjel fázist vált.

A differenciáltranszformátorok kedvező tulajdonsága, hogy átviteli karakterisztikájuk – elsősorban a semleges helyzet környezetében – lineáris (159. ábra), valamint kimeneti teljesítményük nagy.



159. ábra. Differenciáltranszformátor kimeneti karakterisztikája

Jelentősebb linearitási hiba a mérési tartomány szélein alakul ki. Gondos kivitelezéssel készült átalakítók mágneses tere üzemi körülmények között tekintélyes nagyságú, ezért a külső mágneses terek hatása rendszerint nem befolyásolja a mérés pontosságát.

Temeses mérési hibát okozhat azonban a hőmérséklet változása, ami egyrészt a mágneses jellemzők, másrészt a mechanikai méretek változtatásával fejt ki hatását. Megfelelő anyagú és alkalmas konstrukciójú műszerrel e hiba is nagymértékben csökkenthető.

12.2.3. Magnetoelasztikus átalakítók

A ferromágneses anyagok mindig kristályos szerkezetűek. A kristályszerkezetben belül az egyes atomcsoportok olyan mágneses tartományt (ún. domént) alkotnak, amelyek elemi mágnesként viselkednek. A rendezetlenül elhelyezkedő elemi mágnesek miatt a kristályszerkezet kifelé nem mutat mágneses hatást. Külső mágneses tér hatására az elemi mágnesek igyekeznek a tér irányába fordulni, ami a mágneses anyag geometriai méretváltozását eredményezi. E jelenség a *magnetostríkción*. Az elemi mágneseknek a tér irányában való beállítása természetesen jelentősen jelenti, hogy a kristályszerkezet különböző kristálytani irányokban más és más mágneses tulajdonságúvá válik. A mágneses tulajdonság mérőszáma a permeabilitás, (jele μ , egysége henry/méter), amely az előzőek szerint irányfüggő mennyiség.

A magnetostríkcións jelenség fordítottja a *magnetoelasztikus* hatás, amelynek lényege tehát a következő. Legyen egy rendezett elemi mágneseket tartalmazó anyag permeabilitása a megadott irányban μ . Külső erővel deformáljuk a kristályszerkezetet. Ennek következménye az lesz, hogy az elemi mágnesek az eddigi irányukból elfordulnak és μ megváltozását okozzák. A

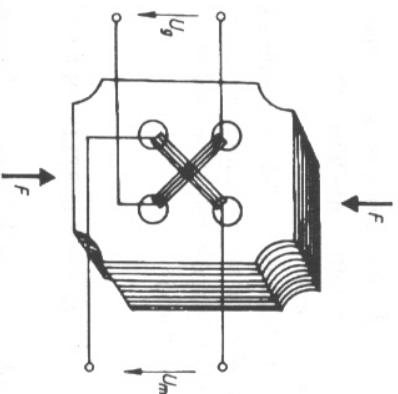
μ vagy ezzel függvénykapcsolatban levő más mágneses jellemző (pl. indukci-
vítás) méréséből a deformációt létrehozó mechanikai feszültségre következh-
tethetünk. Miután mechanikai feszültség nemcsak húzáskor, ill. nyomáskor
lép fel, ezért magnetoelasztikus úton hajlító, nyíró és csavaró igénybevétel is
meghatározható. A relatív permeabilitás nemlineáris függvénye a mechani-
kai feszültségnek. A jellemzők közötti összefüggés közelítőleg a következők
szerint alakul:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = k\sigma,$$

ahol k anyagi állandó, σ a mechanikai feszültség.

A magnetoelasztikus átalakítók transzformátoros elven működők (press-
duktor) és az indukciótás megváltozásán alapulók lehetnek.

A transzformátoros kivitel elvét az 160. ábra szemlélteti.

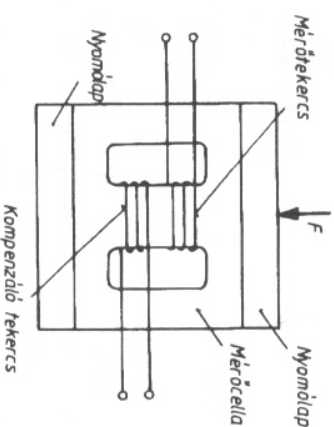


160. ábra. Magnetoelasztikus transzformátoros átalakító

A transzformátorlemezeket ragasztással vagy csavaros kötással rögzítik
egymáshoz. Az átalakító működése szemléletesen úgy magyarázható, hogy
a mérőcella mechanikai terhelés nélkül olyan, mint egy rosszul elkészített
transzformátor. Ennek oka a primer és szekunder tekercsek speciális (mág-
nesesen 90 fokos) elrendezése. Terhelés hatására a nyomás irányában a mág-
neses permeabilitás csökken. A lemezsomagban eltorzulnak az indukcióvo-
nalak, és a két tekercs közötti mágneses kapcsolat változik, vagyis az eddigi
nulla kimeneti feszültség megnő. Legérzékenyebb a mérőcella akkor, ha a két
tekercs egymással 90 fokot és a mérendő erővel 45 fokot zár be. A lemezelt
kivitelre azért van szükség, mert így kisebb az örvényáram okozta veszteség.
A kimeneti feszültség nem függ a terhelés megoszlásától, mivel minden lemez
egy-egy elemként működik. A tulajdonképpeni mérési terület a mérőcellán
levő négy lyuk által határolt terület, amit mérőkeresztnek is neveznek. A

mágneses kör minden lemezben zárt és a mérőkeresztben kívüli nagy kereszt-
metszetű, ezért a szórás elhanyagolható.

Az indukciótás megváltozásán alapuló magnetoelasztikus átalakítók tö-
mör vagy cső keresztmetszetű légy mágneses anyagból készült készült vasmagján a
mérőtekercs mellett a hőmérséklet-kompenzáló tekercset is elhelyezik. A fer-
romágneses testet rendszerint ráhegesztik az erőhatást átvevő nyomólapokra.
Erre azért van szükség, mert a megmunkálás pontatlansága miatt a nyomó-
lap és a mérőcella között maradó légréteg nagysága terheléskor változna és ez
meghamisítaná a mért értéket. Magnetoelasztikus átalakító látható az 161.
ábrán.



161. ábra. Indukciótás megváltozásán alapuló magnetoelasztikus
átalakító szerkezete

A magnetoelasztikus mérőátalakító pontosságát nagymértékben befolyá-
solják anyagának mechanikai és mágneses tulajdonságai. Ez azt jelenti, hogy
a pontosságot az anyagfajta %-os összetételén kívül az átalakító készítési
módja, pl. az anyag hőkezelése is befolyásolja.

A mérés során fellépő mechanikai és mágneses hiszterézis is hibát okoz.

12.2.4. Az indukciós átalakítók mérőkörrei

Az indukciós átalakítók kimeneti jellemzői elvileg bármilyen indukciótásmérő
eljárással meghatározhatók.

Az eljárások a gyakorlatban viszont korlátozottak, tekintettel arra, hogy
az átalakítók kimenetjelének feldolgozása sok esetben folyamatosan szüksé-
ges, másrészt a mérni kívánt indukciótások nagyságrendje és frekvenciatar-
tománya is befolyásolja a mérési eljárást.

Laboratóriumi méréshez a Maxwell-Wien-hidas eljárást (mint nulla-
módszeres mérést) alkalmazzák. A hidas nullamódszeres mérés hosszadalmas

és bár nagy pontosságú, mégsem gyakori eljárás. A mérés hosszú időtartama mellett további hátrány a dinamikus mérések kivitelezhetetlensége.

Kitéréses mérési eljárás is megvalósítható hídkapcsolással, amellyel folyamatos (de nem dinamikus) paraméterváltozás esetén is az induktivitás, ill. az átalakító bemeneti jellemzője meghatározható. Ilyenkor a hídban a nullaindikátor helyett érzékeny váltakozófeszültség-mérőt használunk. Erre volt példa a 156. ábra.

A jelfeldolgozásban gyakran a fizikai jellemző hatására létrejövő kimeneti jel csak egy bizonyos határon túli megváltozását kívánjuk érzékelni. Ekkor az átalakító kimenőjével működtetett billenő áramkör a jelfeldolgozó.

12.3. Kapacitív átalakítók

Kapacitív mérőátalakítók esetén a bemeneti mennyiség kapacitásváltozást hoz létre.

A kapacitív átalakítók kevésbé terjedtek el, aminek okát elsősorban a jelfeldolgozás nehézségében (az átalakítót tápláló nagyfrekvenciás jel igényben) kell keresni. Néhány speciális méréstechnikai feladatban azonban a kapacitív jelátalakítók használata indokolt.

Az átalakítók kapacitásváltozását a geometriai elrendezés változása vagy a dielektromos állandó (ϵ) megváltozása okozhatja.

12.3.1. Sík- és hengerkondenzátorok

A síkkondenzátor felépítését a 162. ábra szemlélteti.

A síkkondenzátor kapacitása, ha a lemezek között a villamos tér homogénnek tekinthető (nagy felületű, kis lemeztávolságú):

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{l},$$

ahol ϵ_0 a vákuum dielektromos állandója, ϵ_r a szigetelőanyag relatív dielektromos állandója, A a kondenzátor lemezeinek felülete, l a lemezek közötti távolság.

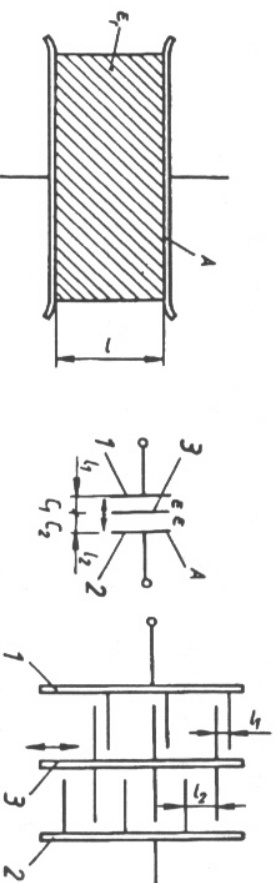
Az összefüggésből világosan látható, hogy akár ϵ , A vagy l változása kapacitásváltozást hoz létre.

A valóságban mindhárom változási lehetőség előfordul, amire néhány példát a következőkben láthatunk.

A lemeztávolság (l) változására a kapacitásváltozás nem lineáris, de a reaktancia lineárisan változik:

$$X_C = \frac{l}{2\pi fC}.$$

A mérés szempontjából kedvezőbb, ha differenciál kialakítású a síkkondenzátor megoldás (163. ábra).

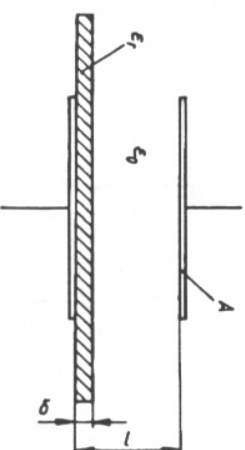


162. ábra. Síkkondenzátor

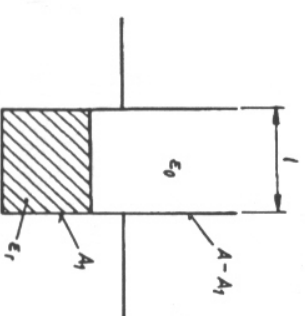
163. ábra. Differenciál kialakítású síkkondenzátor

E síkkondenzátorban X_{C1} , ill. X_{C2} lineárisan és ellentétes irányban változik a középső fegyverzet elmozdulásával és ez – mint később látni fogjuk – kedvező mérési módszert tesz lehetővé.

Ha az aktív lemeztávolság változik (164. ábra), akkor a kondenzátor úgy fogható fel, mint két kondenzátor soros kapcsolása.



164. ábra. Síkkondenzátor az aktív lemeztávolság változtatásával



165. ábra. Síkkondenzátor az aktív felület változtatásával

A részkapacitások:

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{\delta}, \quad C_2 = \epsilon_0 \frac{A}{l - \delta}.$$

Az eredő kapacitás:

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2},$$

$$C_e = \frac{\epsilon_0 A}{l} \cdot \frac{\epsilon_r}{\epsilon_r - (\delta/l)(\epsilon_r - 1)}.$$

Az eredő kapacitás tehát bonyolult összefüggés szerint változik δ ill. l függvényében.

Az aktív felület változásakor (165. ábra) a kondenzátor lemezei közötti teret részben dielektrikum tölti ki. Két kapacitás kapcsolódik egymással párhuzamosan, amelyeknek eredője:

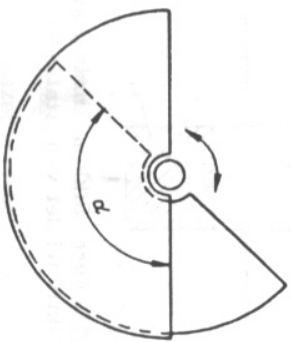
$$C_e = C_1 + C_2 = \frac{\epsilon_0 A}{l} \left[1 + \frac{A_1}{A} (\epsilon_r - 1) \right].$$

Látható, hogy a kapacitás az A_1 felülettel lineárisan változik, ami mérés-technikai szempontból rendkívül kedvező.

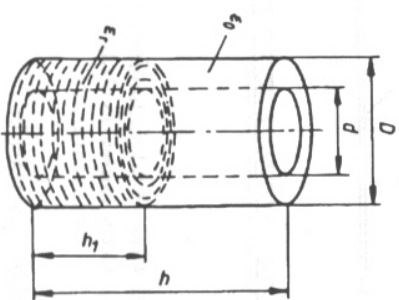
Szögelfordulások méréseire a *forgókondenzátorok* alkalmaztak. A forgókondenzátor a síkkondenzátoroknak olyan változata, amelyben az aktív felületek változnak. Elvi vázlatát a 166. ábra szemlélteti.

A lemezpárok egymáshoz képesít helyzetét a tengely körüli forgatással lehet változtatni. Mind a forgó-, mind az állórész több lemezről áll. A profil kiképzése többféle is lehet, de mérés-technikai célokra rendszerint félkör alakú lemezeket készítenek.

A kapacitív átalakítók közül nagy jelentősége van a *hengerkondenzátoroknak* (167. ábra).



166. ábra. Forgókondenzátor elvi vázlata



167. ábra. Hengerkondenzátor

Leggyakrabban szintiméresi feladatok megoldására használják. A hengerek képezik a fegyverzeteket. Amennyiben a közöttük levő teret szigetelőanyag vagy rossz villamos vezető tölti ki, akkor a hengerek lehetnek szigeteljenek. Ellenkező esetben gondoskodni kell legalább az egyik – legtöbbször a belső – elektróda szigeteléséről.

A hengeres kondenzátorok kapacitása tízesen:

$$C = \epsilon_0 \frac{2\pi h}{\ln D/d}.$$

Ha h_1 magasságig ϵ_r dielektromos állandójú anyaggal töltjük fel, az új kapacitása:

$$C = \epsilon_0 \frac{2\pi h}{\ln D/d} \left[1 + \frac{h_1}{h} (\epsilon_r - 1) \right].$$

Az összefüggésből látható, hogy a kapacitás lineáris függvénye h_1 -nek. A valóságban C összefüggése kiegészítésre szorul, mivel a hozzávezetések szerelési kapacitása is számottevő nagyságú lehet.

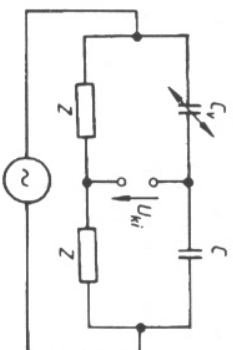
12.3.2 Kapacitív átalakítók mérőköréi

A kapacitív átalakítók kapacitása rendszerint néhány száz pF nagyságrendű, a változások ennél jóval kisebbek. Ez egyben felveti azt a nehézséget, hogy hangfrekvenciás vagy ennél kisebb frekvenciájú jellel a kapacitív átalakító jellemzői nem mérhetők, mert az igen nagy impedanciák miatt növekszik a rendszer zavarérzékenysége, és szigetelési problémák lépnek fel.

A tápfeszültség tehát nagyfrekvenciás jellel (0,1...1 MHz) mérhető, ami nagyfrekvenciás generátor alkalmazását igényli. Az ilyen generátorok rendkívül költségesek. Ugyancsak problémát okoz a jelszint erősítése, ami csak széles sávú erősítővel lehetséges. Ez a két fő oka a kapacitív átalakítók viszonylag szűkebb körű alkalmazásának.

Mérőáramkörként elvileg bármilyen kapacitásmérő módszer használható, de mint ahogy az ellenállásos és az induktív átalakítóknál láttuk, itt is első helyen állnak a hídkapcsolások (168. ábra).

A hídkapcsolás egyik ágában helyezkedik el a C_v változó kapacitás és egy normál-kapacitás, míg a másik ágat akár ellenállásokkal, akár kapacitásokkal kiegészíthetjük. A differenciálkondenzátorok mind az érzékenység, mind a hőmérséklet-stabilitás szempontjából előnyösebbek, mert a felső hídág mindkét kondenzátorra helyett változó kapacitások köthetők be.



168. ábra. Kapacitív mérőhíd

12.4. Aktív átalakítók

Az aktív átalakítók azok a mérőátalakítók, amelyek a méréshez (átalakításhoz) szükséges energiát a mérőkörből veszik, és kimenőjelük közvetlenül mérhető villamos mennyiség: áram vagy feszültség. Az energiafelvételtől miatt jelentős visszahatásuk lehet a mért mennyiségre, így használatuk elsősorban olyan méréshez ajánlott, amelyben a nagy energiaszint ezt a hatást elhanyagolhatóvá csökkenti.

12.4.1. Termoelektromos átalakítók

Termoelektromos átalakító vagy másképpen *hőelem* az az átalakító, amely a mérendő jellemzőt (a hőmérsékletet) közvetlenül villamos jellemzővé, egyenfeszültséggé alakítja át.

A hőelem tehát segédenergia nélküli átalakító. Kis belső ellenállása miatt feszültséggenerátorként fogható fel.

Felépítése rendkívül egyszerű: két különböző fémről készült huzalt egyik végüknél (melegpont) összehegesztenek. A kötéspont melegítésének hatására a szabad végek (hidegpont) közötti egyenfeszültség mérhető. A kapott feszültség nagysága a meleg- és a hidegpontok közötti hőmérséklet-különbségtől, valamint a hőelemet alkotó fémek tulajdonságától függ.

A hőelem típusa, a hidegpont hőmérséklete és a feszültség ismeretében nagy pontossággal meghatározható a kötéspont hőmérsékletének értéke.

A fémek közül nem mindegyik alkalmas hőelem céljaira. Hőelemnek való fém párok kiválasztásakor figyelemmel kell lenni arra, hogy a kapott feszültség arányosan változzon a hőmérséklettel és lehetőleg nagy legyen. Továbbá a hőelem pár legyen korrozóálló és kis hiszterézis mellett nagy időbeni stabilitású.

E követelményeknek egyidejűleg csak nagyon kevés fém pár tesz eleget. A létrehozott feszültség nagysága attól függ, hogy a fémek az ún. hővillamos feszültség sorban milyen távol helyezkednek el egymástól.

3. táblázat

Néhány fém platinára vonatkoztatott termofeszültsége

Fém	Termofeszültség, mV
Konstantán	-3,44
Nikkel	-1,94
Platina	0
Volfrám	+0,65
Platina-rhódium	+0,65
Réz	+0,72
Manganin	+0,80
Vas	+1,87
Nikkel-krom	+2,2

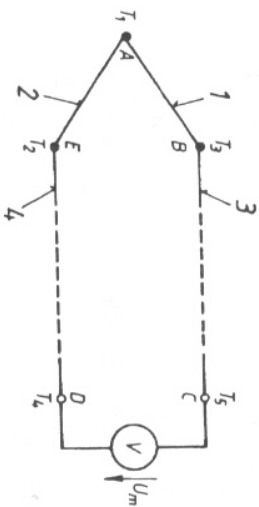
A 3. táblázatban néhány fém elhelyezkedését ismertettük a hővillamos feszültség sorban. A termofeszültségek a $0 \dots 100^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományra vonatkoznak és mV-ban értendők. A vonatkoztatási alap a platina. A leggyakrabban alkalmazott hőelem párok a vas-konstantán, réz-konstantán, platina-platina-rhódium, nikkel-krom-nikkel, amelyek közül pontosság tekintetében kiemelkedő helyet foglal el a platina-platina-rhódium (Pt-PtRh) hőelem. A hőelemek alkalmazhatósági tartományja általában -200°C -tól $+1800^\circ\text{C}$ -ig terjed.

A hőelemek kivétel a felhasználás körülményeitől függ. A biológiai célokra kifejlesztett hőelem párok – a rendkívül kis méret miatt – védőszerelvény nélkül kerülnek forgalomba, míg az ipari felhasználású hőelemeket óvni kell a mechanikai hatásoktól és a korrozíótól. Ezért védőszerelvénybe ágyazva készülnek.

Noha az átalakító rendkívül egyszerű, kimenőjelenek (feszültség) mérése igen sok problémát vet fel. Alapvető nehézség, hogy a jelet nem azonos helyen alakítjuk át és mérjük. A mérés elrendezését az 169. ábra szemlélteti.

Az 1 és 2 fémről készült hőelem melegpontja T_1 hőmérsékletű. A hőelem feszültségét az E – B pontok között lenne célszerű mérni, de a mérésre távolabbi helyen kerül sor. A jelet a 3–4 vezetéken továbbítjuk, vagyis a feszültséget a C – D pontok között mérjük. A mérőkör azonban több hőelemet tartalmaz, hiszen minden csatlakozása hőelemet képez és ezeknek a

hőmérséklete nem szükségképpen azonos. Így a műszer „eredő” feszültséget mér, amely nem egyezik meg az 1-2 hőlempár feszültségével. A mérésnél további hibát okozhat a fizikából ismert Peltier-hatás. E szerint a hőelemen átfolyó áram hatására – az áram irányától függően – a hőelemnek hőmérséklete nő vagy csökken. Minden olyan áramkört mérés, amelynél áram folyik a hőelemen keresztül, Peltier-hatást hoz létre, ami meghamisítja a mérési eredményt. Ezért a mérőkört úgy kell kialakítani, hogy a feszültséget terhelésmentesen, pl. kompenzációs módszerrel mérjük.



169. ábra. Hőelem feszültségének mérése

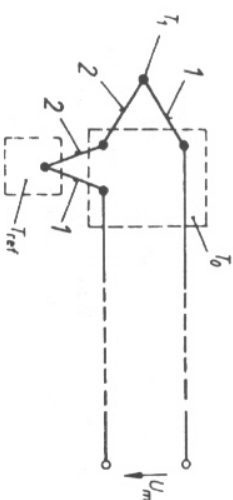
Az 1-3 és a 2-4 hőelemnek jelenléte miatt fellépő hibát *kompenzációs mérési eljárással* szüntethetjük meg oly módon, hogy a B – E csatlakozási pontokat állandó hőmérsékletű termosztátba helyezzük, és a 3-4 vezetékpárokat ún. kompenzáló vezetékpárból alakítjuk ki. *Kompenzáló vezetékpárnak* kalmazott hőmérséklet-tartományban – megegyezzenek a hozzájuk csatlakozó hőelem hővillamos tulajdonságaival. Természetesen egy hőelem kompenzáló vezetékpárja a hőelem anyagával megegyező vezetékpár, de ilyen vezetékek beépítése rendkívül költséges (több 10 m is lehet a távolság). Ezért meg kell elégedni a hőelemhez hasonló tulajdonságú, de olcsóbb kivitelű vezetékekkel. Kompenzálóvezetékek alkalmazásakor, ha a B – E pontok termosztátálása mellett a C – D pontokat is állandó hőmérsékleten tartjuk, akkor a hőelem kompenzációs úton mért feszültsége csak a melegpont és a C – D pontok hőmérsékletkülönbségétől függ, és azzal arányos.

A kompenzáló vezetékpár használatától eltekinthetünk, ha a mérést két azonos típusú hőelemmel végezzük. Ilyen esetben a két hőelemet egymással villamosan szembekapcsoljuk, és a segédhőelem melegpontját referencia-hőmérsékletű térbe helyezzük (170. ábra). Referencia-hőmérséklet gyanánt szóba jöhet az olvadó jég és víz keveréke (0°C).

Referencia hőelemes méréskor a feszültség a két hőelem hőmérsékletkülönbségével arányos:

$$U_m = k(T_1 - T_{ref}).$$

A mérésekhez bármilyen kompenzációs elvű eljárást alkalmazhatunk.



170. ábra. Hőelemes mérés referencia hőelem alkalmazásával

12.4.2. Piezoelektromos átalakítók

A természetben előforduló néhány kristályos szerkezetű anyag meghatározott irányú mechanikai terhelés hatására lapjain töltéseket állít elő, vagyis feszültséget termel.

Ilyen kristály a kvarc és a turmalin, a mesterségesen előállított anyagok közül pedig pl. a bárium-titanát és a Seignette-só.

Ez a jelenség piezoelektromos hatás néven ismert. A felsorolt kristályok közül méréstechnikai szempontból legnagyobb jelentősége a kvarckristálynak van.

A piezoelektromos hatás összefüggésben van a kristályok kristálytani irányával. A megfelelő irányú terhelés hatására az adott felületeken töltések jelennek meg. A kapott töltésmennyiség a kristály geometriai méretétől, az igénybevétel irányától és nagyságától függ. Egy adott irányú terhelésnél a töltés és a hatóerő között a kapcsolat lineáris, az ún. *piezoelektromos állandóval* jellemezhető. Kvarckristály esetén ez az érték $d = 2,31 \text{ pC/N}$, Seignettesó esetén $d = 476,9 \text{ pC/N}$. Az F erő hatására a kristály felületén kialakuló töltés:

$$Q = dF.$$

A kivágott kvarckristály olyan kondenzátorként viselkedik, amelynek kapacitása:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{l}.$$

Így a kialakuló feszültség:

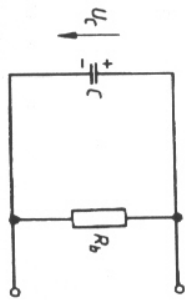
$$U = \frac{Q}{C} = \frac{dF}{C},$$

és az érzékenység:

$$E = \frac{U}{F} = \frac{d}{C} \text{ V/N.}$$

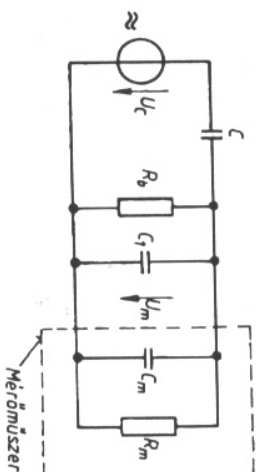
Tekintettel arra, hogy a kristályt a mérési feladat elvégzéséhez kristálytartó foglalatba kell helyezni, az érzékenység változik, csökken. Ennek oka, hogy a foglalat kapacitása párhuzamosan kapcsolódik a kristállyal, így a töltések megoszlanak. Helyesen kialakított szerkezettel elérhető a 0,1 V/N érzékenység, ami igen jelentős érték. Több kristály sorba kapcsolásával ez tovább növelhető.

A kristály mint jelforrás igen nagy belső ellenállású generátorként fogható fel. Ez az ellenállás általában $10^{12} \dots 10^{13} \Omega$ -ot jelent. Ezért a kristály feszültségét statikusan mérni igen körülményes. Az elektronikus feszültségmérők bemeneti ellenállása a kristályénál jóval kisebb, így azok rákapcsolása a kristály szempontjából praktikusán rövidzárt jelent. Statikus terhelés esetén a kristály villamos helyettesítő képe a 171. ábra szerinti.



171. ábra.

Piezoelektromos kristály helyettesítő kapcsolása statikus terhelésénél



172. ábra. Piezoelektromos kristály váltakozó áramú helyettesítő képe

A kristály $W = 1/2CU^2$ energiájú feltöltött kondenzátorként viselkedik, amely az R_b belső ellenállásán (és a kristálytartó foglalat szigetelési ellenállásán) keresztül kislül, tehát egy idő után megszűnik a feszültség.

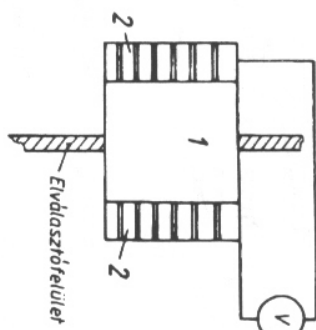
A dinamikus igénybevételnél más a helyzet. Ilyenkor a kristály nem túl nagy impedanciájú, tisztán kapacitív belső ellenállású generátorként viselkedik, ami a mérési problémát jelentősen csökkenti.

A váltakozó áramú helyettesítő képet a 172. ábra szemlélteti. Az ábrán C_1 a kristálytartó, C_m a mérőműszer kapacitása, és R_m a műszer belső ellenállása. A méréskor e paraméterek hatásával számolni kell.

12.4.3. Oxigénkoncentrációs átalakítók

A legújabb fejlesztések eredménye az az átalakító, amely gázok oxigénkoncentrációjának változására változó egyenfeszültséget szolgáltat.

A galvanikus oxigénkoncentrációs cella elvi felépítése a 173. ábrán látható.



173. ábra. A galvanikus oxigénkoncentrációs cella elvi felépítése

A szonda speciális 1 kerámiaresze (mely tulajdonképpen szilárd elektrolit) zirkónium-oxidot és ittrium-oxidot tartalmaz. A kerámiatesten vékony, gázáteresztő platinabevonat van, amelynek szerepe kettős. Egyrészt katalizátor, másrészt a villamos csatlakozást biztosítja.

A platinabevonat felett a szilárd, porózus 2 elektródaréteg található. A szonda kerámiafelületén elhelyezkedő két elektróda között feszültség mérhető abban az esetben, ha a szonda két oldalán az oxigénkoncentráció eltérő. A feszültség nagysága függ a kerámiatest anyagi összetételétől, a hőmérséklettől és az oxigénkoncentrációtól. A hőmérséklet hatása jelentős, mert az átalakító csak meghatározott hőmérséklet felett üzemképes. A kívánt galvanikus folyamatok 250°C felett indulnak meg, és $350 \dots 850^\circ\text{C}$ közötti hőmérsékleten kapjuk a legjobb eredményt.

Ezzel az átalakítóval gépkocsik kipufogógázának oxigénkoncentrációját mérjük. A cél a robbanómotorok levegő-tüzelőanyag keverékének ideális értékén tartása ($\lambda = 1$). Így ez az eszköz a valóságos kivitelében lambdaszonda néven ismert.

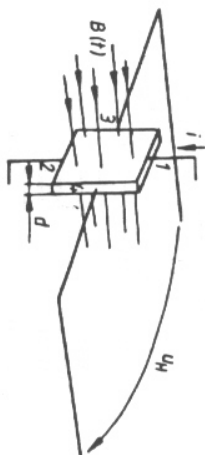
12.4.4. Hall-hatású átalakítók

A Hall-szonda tulajdonképpen kisméretű félvezető lapka (174. ábra), amelyen áramot vezetünk keresztül. A lapra merőleges $B(t)$ mágneses indukció hatására az ábrán 3-4-gyel jelölt felületen Hall-feszültség jön létre. A feszültség nagysága:

$$u_H = R_H \frac{B(t)_i}{d},$$

ahol R_H a szondára jellemző állandó, d a lapka vastagsága.

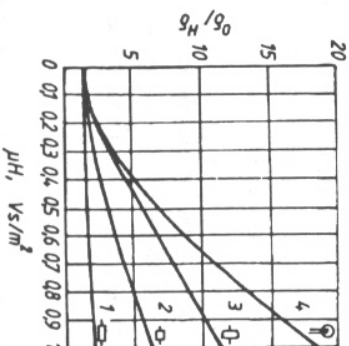
A szonda kis méretben készíthető, a szokásos szondafelület 1...10 mm². A működési elv alapján kétféle mérőátalakítót készítenek.



174. ábra. Hallszonda működése

A hallotron a működés során keletkező Hall-feszültség mérésével teszi lehetővé valamely, azt létrehozó jellemző mérését. Ez a jellemző lehet pl. az i áram vagy a B indukció, de lehet a kettő egyidejűleg változó szorzata is. Uyenformán a hallotron előnyös teljesítméymérésre, ha a két változót a villamos teljesítmény változónak feleltetjük meg: $i = au(t)$ és $B(t) = bi(t)$. Az átalakító széles frekvenciatartományban – 0 Hz-től néhány GHz-ig – működőképes.

A magnisztor esetén az áram által átjárt félvezető lapka mágneses tér hatására létrejövő ellenállás-változása a működés alapja. A fajlagos ellenállás-változás a lemezke geometriai kialakításától is függ (175. ábra).



175. ábra. Hallszonda fajlagos ellenállásfüggése

A fajlagos ellenállás-változás nagy, így pl. állandó mágnes közelsége biztonságosan érzékelhető. Az ellenállásérték viszont kicsi, ezért általában hozzáillesztett elektronikával együtt forgalmazzzák.

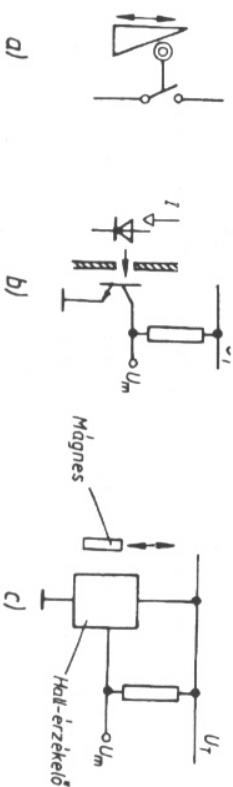
13. Mérőátalakítók a járművekben és a diagnosztikában

Az előző fejezetben megismerhettük a fizikai jelek villamos jellé alakításának eszközeit. Most arra keressünk választ, hogy a már megismert átalakítók használatával miként mérhetünk különböző mennyiségeket.

13.1. Helyzetérzékelők

Helyzetérzékelésre számos lehetőség kínálkozik. Az érzékelő megválasztásakor az üzemeleti körülmények gondos mérlegelése után kell dönteni.

a) A helyzetérzékelés leggyorsabb módja, ha az adott pozícióhoz – jól megválasztott mechanikával működtetett – mérőérzékeny kapcsolunk. Ezeket az elektromechanikus érzékelőket különböző védettséget adó tokozásban, a működtetési változatok széles körét kínáló segédszerelevényekkel készítik.



176. ábra. Példák helyzetérzékelőkre

a) mechanikával működtetett kapcsoló; b) optoelektronikus érzékelő; c) Hallszondás érzékelő

b) Kitérően alkalmazható helyzetérzékelésre a reedöss. Az érzékelő előtti elhaladó állandó mágnes hatására a csőben levő érintkezők zárnak. Közvetlen érintkezés nélküli, esetleg egymástól – nem ferromágneses anyaggal – elválasztott alkatrészek pozíciójának érzékelésére is alkalmas, amennyiben a figyelni kívánt alkatrésze elhelyezhető a működtetőmágnes.

c) Pozícióérzékelésre készíthnek az indukтив és a kapacitiv közelítéskapcsolók. Ezekben az átalakító kimenőjelét az elektronika a felhasználók által könnyen érzékelhető jelle alakítja: általában feszültséggé vagy árammá.

d) Korszerű megoldás az optoelektronikus érzékelők (optokapuk) alkalmazása. Fénykibocsátó dióda és fototranzisztor kapcsolatát (a fény útját) megszakítva érzékelhetjük a kívánt pozíció elérését. A megoldás hátránya, hogy az optikai kapcsolat szennyeződések miatt könnyen torzul.

e) A reedsőhöz hasonlóan állandó mágnes jelenlétét érzékelhetjük Hall-szondás (magnisztoros) érzékelővel.

A 176. ábrán az ismertetett megoldásokra találunk példákat.

13.2. Az elmozdulás és az elfordulás mérése

Elmozdulás, távolság, ill. szögelfordulás mérése is igen sokféle lehet.

a) *Helyzetérzékelők* szakaszos elhelyezésével és azok állapotának figyélésével mérve az elmozdulást, ill. szögelfordulást kevésbé pontos eljáráss. A mérés felbontását az érzékelők egymástól való távolsága, a mérés hibáját pedig felszerelésük pontossága és az érzékelők hibája határozza meg.

b) Az előző részben láttuk, hogy a *csúszóérinkezés mérőátalakítókat* bemenőjele elmozdulás vagy szögelfordulás, kimeneti jele ellenállás, ill. ellenállás-változás. Így ezek közvetlenül alkalmasak elmozdulás vagy szögelfordulás folyamatos érzékelésére.

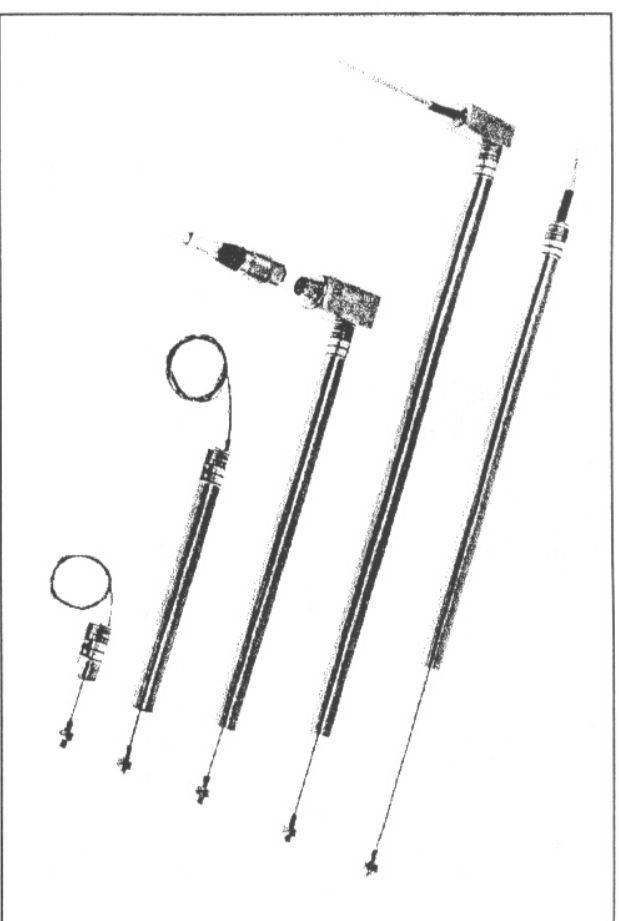
Kimenőjelük feldolgozásakor ügyelni kell arra, hogy a csúszka által kettősztozott ellenállás egyik felével a mérőműszer belső ellenállása párhuzamosan kapcsolódik, így csak nagy belső ellenállású mérési módszerrel kapunk pontos eredményt.

c) Az *induktív és a kapacitiv átalakítókkal* is közvetlenül mérhető az elmozdulás. Példaképp a 177. ábrán néhány indukтив átalakítót mutatunk be.

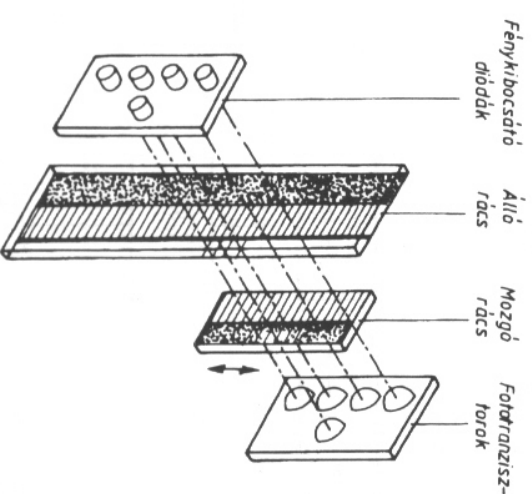
d) Nagy pontosságú mérést tesz lehetővé az *inkrementális jeladó*. A mérés elve az, hogy a 13.1.d) pontban ismertetett optokapú előtt igen nagy felbontóképességű rácsszerkezet mozdul el (178 ábra).

A jelátalakítóban egy rácsszerkezet és több optokapú alkalmazásával (és ezek jelének az átalakítón belüli feldolgozásával) érik el, hogy az inkrementális elfordulás-, ill. elmozdulásérzékelő igen precízen mér. Elmozdulásmérésnél a felbontóképesség elérheti a 20 μm -t, elfordulásmérésnél pedig a 0,05° értéket.

Az inkrementális érzékelők kimeneti jele két egymáshoz képest fázisban 90 fokkal eltolt négyyszögfeszültség [179a) ábra].



177. ábra. Induktív elmozdulásmérők



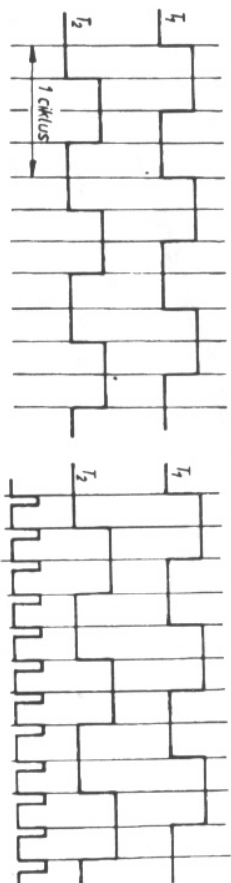
178. ábra. Inkrementális átalakító működése

A jeladó egy ciklusán a négyyszögjel egy periódusát értjük. A felbontóképesség azt jelenti, hogy egy ciklus milyen széles bemeneti jelnek felel meg.

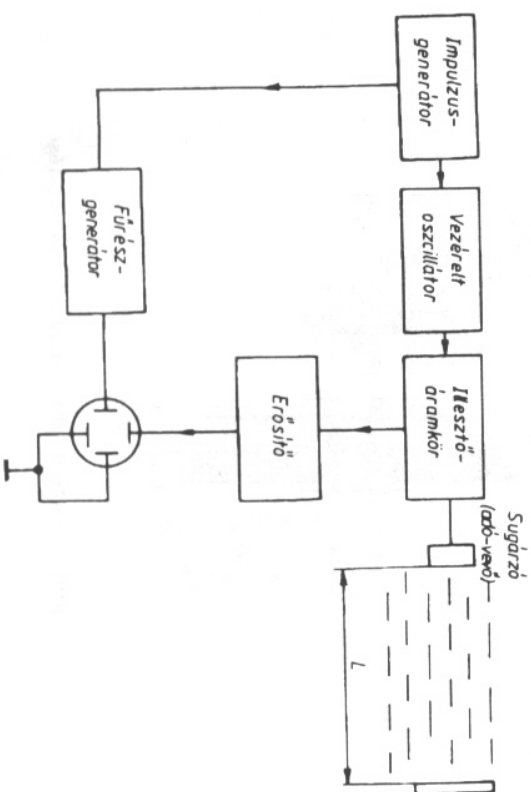
A kimeneti jelek számlálással közvetlenül mérhetőek. Kiértékelésükkel az elmozdulás iránya megállapítható, ill. a felbontóképesség növelhető [179b) ábrán].

Az elmozdulás irányát meghatározhatjuk pl. a két felfutóél közti fázisszög mérésével. Az egyik irányhoz a 90° -os, a másik irányhoz 270° -os fáziseltérés tartozik.

A felbontóképességet úgy növelhetjük, hogy a kiértékeléshez mindkét jel mindkét élet (fel- és lefutó) felhasználjuk oly módon, hogy a jelváltásokkal egy billenőáramkört működtetünk és ennek kimenőjelét használjuk kimenetként.



179. ábra. Inkrementális jeladó a) kimeneti jelei és azok b) kiértékelése



180. ábra. Távolagságmérés kisugárzott hullámokkal

e) Megbízható távolagságmérési eljárások az *elektromágneses hullámok*, ill. az *ultrahang* terjedési idejének mérésén alapuló módszerek (radar, ill. hangradar).

Mindkét hullámmal való mérés során a kibocsátott és a céltárgyról visszaverődött hullámok futási idejéből határozható meg a távolság. Ehhez a mérési elvhez tehát az kell, hogy a sugárzó és a céltárgy közötti közegben a hullámok jól terjedjenek. Így levegőben (és vákuumban) az elektromágneses hullámok, folyadékokban az ultrahanghullámok eredményesek.

A mérés tömbvázlata a 180. ábrán látható.

Az impulzusgenerátor a vezérelt oszcillátort indítja, mely rövid ideig tartó, megfelelő frekvenciájú jelet juttat a sugárzóra. Ezzel egy időben az impulzusgenerátor jelére a fűrészgenerátor is indul. A visszavert jel – megfelerősítés után – a kiértékelőegységre, pl. az oszcilloszkóp képernyőjére kerül. A jel indítása és visszaérkezése közt eltelt időből a terjedési sebesség ismeretében meghatározható a távolság.

13.3. A fordulatszám mérése

a) A fordulatszám mérésére alkalmas villamos *tachométerek* lényegében egyen- vagy váltakozó feszültségű generátorok azzal a megszorítással, hogy a fordulatszámuk és a kimeneti feszültségük közötti kapcsolat lineáris.

Az *egyenfeszültségű tachométerek* gerjesztőterét állandó mágnes hozza létre. A forgórészben indukált feszültséget kommutátorral egyenirányítják, majd egyenfeszültség-mérővel mérik. Általában $500 \dots 2000$ 1/min fordulatszámokat mér, amelyeknél a leadott feszültség $5 \dots 35$ V közötti, 1% linearitás mellett.

Előnyük a nagy pontosság és a forgásirány jelzésének tulajdonsága (polaritásváltás). A kommutátor hátrányai miatt (szikrázás, az átmeneti ellenállás változása stb.) az egyenáramú tachométerek jelentősége ma már kisebb.

Elterjedtebbek a *váltakozó feszültségű tachométerek*, amelyeknek felépítése annyiban tér el az egyenáramú tachométerektől, hogy itt a forgórész állandó mágnes, és az állórész tekercsében keletkezik a fordulatszámmal arányos nagyságú váltakozó feszültség. Így elmarad a kommutátor, ami feltehetően előny. A fordulatszám és az átfeszítési kimeneti feszültség kapcsolata lineáris, de a tachométer terhelése esetén a jelleggörbe erősen nemlineárisává válik.

A tachométereket a fordulatszám méréséhez a forgó tengely végére erősítik vagy – kisebb pontossági igény, ill. ellenőrző mérések esetén – súrlódás útján létesítenek kapcsolatot a forgó tengely és a tachométer közt. Mechanikai teljesítményigénye (a bemeneti oldalt tekintve) viszonylag nagy, ezért

csak olyan helyen jöhet számításba ahol a mérőkör elegendően nagy energia-szintű.

b) A sztroboszkópos fordulatszám-mérés elve ha egy forgó tárgyra a tárgytól eltérő szintű jelet festünk, ill. helyezünk, és azt rövid felvillanási idejű lámpával olyan ütemben világítjuk meg, hogy a lámpa felvillanásakor a festett jel pozíciója mindig ugyanaz legyen, akkor a forgó tárgy állni látszik. A lámpa felvillanási frekvenciájának ismeretében a forgó tárgy fordulatszám-meghatározható. Azokat a berendezéseket, amelyekkel ilyen periódikus megvilágítás hozható létre, sztroboszkópoknak nevezzük.

Méréskor a forgó alkatrészt sztroboszkóppal megvilágítják, és a megvilágítás frekvenciájának változtatásával létrehozunk egy olyan állapotot, amely-nél az alkatrész állni látszik. Ebben az esetben a villanócső frekvenciája és a forgó tárgy frekvenciája (fordulatszám) megegyezik, és ezt az értéket a műszerről leolvashatjuk. A méréskor sok esetben nem ismeretes a fordulatszám nagyságrendje. Ilyenkor fennáll a tévedési lehetőség, ugyanis kétszer akkora fordulatszámnál (ill. a fordulatszám egész számú többszörösénél) is álló képet látni.

A sztroboszkópos fordulatszám-mérési eljárásnak igen nagy előnye, hogy a mérőrendszernek gyakorlatilag nincs visszahatása a mérőkörre, továbbá nehezen hozzáférhető helyeken is mérhetünk.

c) A fordulatszám nagy pontossággal mérhető elektronikus úton *impulzusátviteléssel*. E célból a forgó tengelyre impulzusadót szerelnek, és annak kimeneti frekvenciáját a digitális frekvenciamérőknél megismert módon mérik. Az impulzusadó által egy körülfordulás alatt adott impulzusok számából és a mért frekvenciából a fordulatszám meghatározható.

Jeladóként bármelyik helyzetérzékelő megfelel, ha annak frekvenciatartományja elegendő a mért értéknek. Jeladóként inkrementális érzékelő is használható.

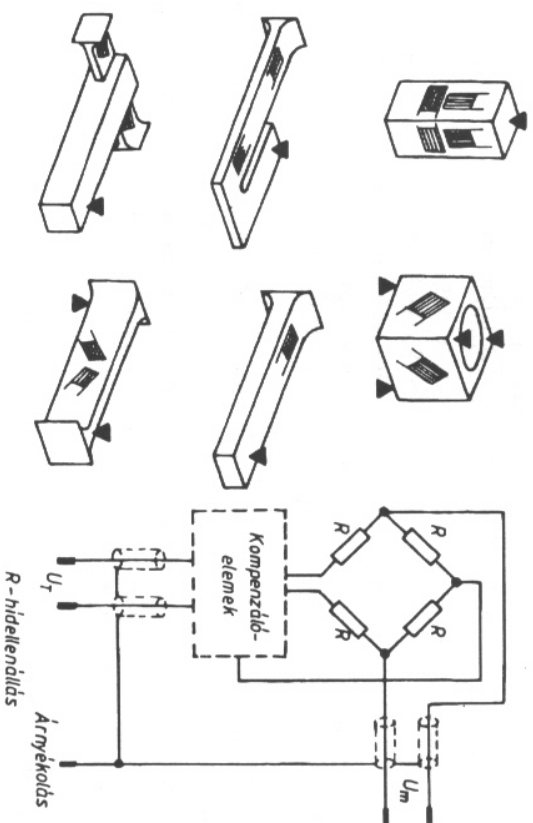
13.4. Az erő és a nyomás mérése

Az erő és a nyomás mérésének közös tárgyalását az indokolja, hogy a mérésükhöz használt érzékelők és mérőrendszerek sok esetben teljesen megegyeznek.

Az alkalmazott átalakítókat *erőmérő*, ill. *nyomásmérő celláknak* nevezzük.

Az legelterjedtebb megoldásnál az erőmérő cella érzékelőeleme nyúlás-mérő bélyeg. Ezekben a mérendő jellemző egy rugalmas fémtestre hat, melynek felületére erősítik a mérőbélyegeket. Az aktív bélyegeken kívül kompenzálóbélyegek, és a kimeneti paramétereket beállító ellenállások vannak az

erőmérő cellában. A nyúlásmérő bélyegek mérőkapcsolása az említett kiegészítőelemekkel szerelt hídkapcsolás (181. ábra).



181. ábra. Erőmérő cella és kapcsolása

Az erőmérő cella legkényesebb eleme a mérőtest. Anyagával szemben követelményeket támasztunk, pl.: nagy rugalmassági modulusa, nagy szakítószilárdsága, kis hízterezése, minden irányban azonos hőtágulása legyen stb. A mérőtest deformációs igénybevételre természetesen csak a rugalmassági határon belül lehetséges, ezért túlterhelés ellen a mérőtestet védeni kell.

Dinamikus mérésekre a *piezoelektromos átalakítók* alkalmazhatók. Amint azt a korábbiak során megismertük, a piezoelektromos átalakítók statikus erő, ill. nyomás mérésére nem használhatók, alsó határfrekvenciájuk néhány Hz. Előnyük a kis méret, az elmozdulásmentes mérés, a nagy mérési tartomány és a magas felső határfrekvencia.

Erőmérésre használható a *magnelektromos érzékelő*. Ezeknél az átalakítóknál a vasanyagban terhelés hatására bekövetkező permeabilitásváltozás következtében létrejövő indukтивitás-, feszültség- vagy áramváltozást lehet mérni.

Nagy erők statikus és dinamikus mérésére alkalmas, túlterhelésre kevésbé érzékeny mérőcella készíthető belőle.

13.5. Közegek áramlásának mérése

13.5.1. Turbinás áramlásmérők

A turbinás áramlásmérők az áramló közeg kineitkai energiáját használják fel. Működésük azon alapul, hogy az áramló közeg elemi részecskéi a turbina lapátjának ütközve átadják annak mozgási energiájuk egy részét, tehát a turbínára ható erő és így annak fordulatszámja az áramlási sebességgel arányos lesz.

A turbínát vagy más néven a *szárnykereket* kis súrlódású csapágyakon a csővezeték belsejében helyezik el és azt az áramló közeg hozza forgásba.

A szárnykerék fordulatszámát különböző módszerekkel mérhetjük. Méreni pl. a szárnykerék lapátjának vagy a turbínára rögzített mágnesnek a figyélésével lehet. Érzékelőként alkalmaznak erre az induktív, az optoelektronikus vagy a Hall-szondás átalakítók. Kimenőjelük – általában frekvencia – elektronikus műszerrel mérhető és az áramlási sebesség közvetlenül kijelvezhető.

13.5.2. Termikus áramlásmérők

A termikus áramlásmérők működési elvük alapján két csoportra oszthatók. Az ún. *hőanemométerek* csoportjába tartoznak azok a berendezések, amelyek az áramló közeg útjában elhelyezett hevített test lehűlése alapján következtetnek az áramlási sebességre.

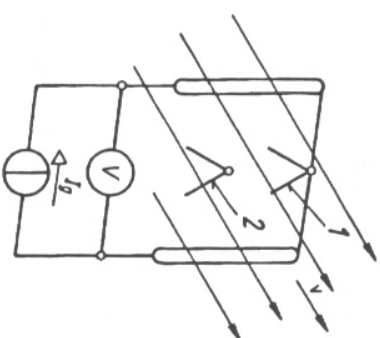
Kalorimetrikus elv alapján működnek azok a készülékek, amelyek esetén a közeg áramlási sebessége azon hőmennyiségből számolható, amit a fűtőelemtől a mérőelemig szállított az áramló közeg.

Mindkét típusú áramlásmérővel elsősorban gázok (gőzök) áramlási paramétereit mérik, de alkalmas konstrukció esetén folyadékok áramlása is mérhető velük. A hőanemométerek érzékelője rendszerint egy igen vékony, 0,01...0,3 mm átmérőjű, 3...30 mm hosszú platina- vagy nikkelhuzal, amelyet néhány száz °C-ra felfűtve helyeznek el az áramlási térben.

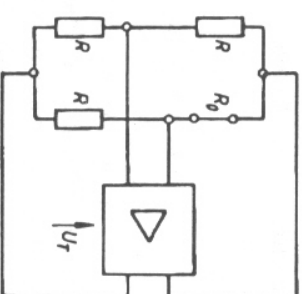
A gyors mérés azt igényli, hogy a huzal hőtehetetlensége minél kisebb legyen, ezért célszerű a huzal átmérőjét a lehetőségekhez képest csökkenteni. Ez ellen több érv is szól. Ilyen pl. az, hogy az érzékelő nagy hőmérséklete és az esetlegesen jelenlevő agresszív gázösszetevők miatt idő előtti elhasználódás következhet be, vagy a fűtött szál mellett áramló gáz aerodinamikus terhelést is jelent, továbbá a lökészerű gázáramlás az érzékelőt befogó villában vibrációs jelenséget idézhet elő.

A hőanemométer érzékelője úgy tekinthető, mint egy, az átmérőjéhez képest hosszú, hengeres test. Ha a fémzálat villamos úton fűtjük, akkor a felvett és leadott hőmennyiségek közötti kapcsolat a közeg hővezetési tényezőjétől, sűrűségétől, valamint a közeg áramlási sebességétől függ. A sűrűség, az áramlási sebesség és az állandó áramlási keresztmetszet szorzata az időegység alatt átáramló tömeget, azaz a tömegáramot adja. Így tehát az áramlási sebességet megfelelő állandókkal szorozva a tömegáramot mérhetjük.

A mérésre több lehetőség is kínálkozik. Amennyiben a fűtött érzékelőt állandó árammal tápláljuk, lehetséges az áramlási sebesség meghatározása a fűtött szál végén mért feszültség, valamint a közeg és a szál hőmérsékletének mérése alapján. Az elrendezés vázlatát a 182. ábra szemlélteti.



182. ábra. Hőanemométer állandó árammal fűtve



183. ábra. Hőanemométer állandó huzalhőmérséklet biztosításával

A fűtött érzékelő hőmérsékletét az 1 hőelem méri, a 2 hőelemmel az áramló közeg hőmérsékletét mérjük, így a műszer az áramlási sebességgel arányos feszültséget jelez.

Állandó huzalhőmérsékletű mérési eljárásnál a termikus egyensúly fenntartásához az szükséges, hogy ne változzon az érzékelőt körülvevő közeg áramlási sebessége, hőmérséklete és anyagi minősége, valamint állandó legyen az érzékelő I fűtőárama. E feltételek együttes fennállása azt jelenti, hogy egyértelműen meghatározható az állandó huzalhőmérséklethez tartozó R_0 érzékelő-ellenállás nagysága. Ha megváltoztatjuk az áramló közeg sebességét, akkor oly módon lehet R_0 értékét változtatlanul tartani, ha megváltoztatjuk a fűtőáram nagyságát. Ezzel a megoldással az áramlási sebesség mérése visszavezethető a fűtőáram mérésére.

A gyakorlatban ezt úgy valósítják meg, hogy az anemométer huzalellenállását hídba kapcsolják (183. ábra), és a hídkapcsolás kimeneti feszültségét

felerosítve, negatív visszacsatolással visszavezetik a hídkapcsolás bemenetére.

A híd feszültség-erősítő olyan állapot fenntartására törekszik, amelynél az erősítőt vezérlő hibafeszültség állandó. Ha megnövekszik az áramlási sebesség, akkor a huzal hőmérséklete és ezzel ellenállása csökken, ezáltal megnő a híd kimeneti feszültsége. Ennek hatására nő az erősítő kimeneti feszültsége és vele együtt a visszacsatoló kör árama. Az áram addig növekszik, amíg a hibafeszültség az eredeti értékre visszaáll. Ily módon a fűtőáram az áramlási sebesség függvénye lesz.

Megjegyezzük, hogy a hőanemometerekbe hőérzékeny elemként termisztor is beépíthető.

13.5.3. Örvényhagyó áramlásmérők

Az előző módszerhez hasonlóan ugyancsak mozgó alkatrész nélküli mérés lehetséges az örvényhagyó áramlásmérővel.

Működése azon alapszik, hogy ha egy rosszul áramvonalazott testet az áramló közeg útjába helyezünk, akkor – meghatározott geometriai és dinamikai feltételekkel – a test oldalainál periodikusan örvények szakadnak le. Ilyenkor az áramló közeg egy jól definiált frekvencián oszcillálni kezd. Az örvényt keltező test felületén elhelyezett nyomásmérővel, vagy a csőre merőlegesen elhelyezett ultrahangos érzékelővel az oszcillációs frekvencia mérhető, és ebből az áramlási sebesség meghatározható.

Az eljárás előnye, hogy gázokra és folyadékokra egyaránt megfelel, nem tartalmaz mozgó alkatrészt, és kimenőjele közvetlenül feldolgozható frekvenciára.

13.6. A hőmérséklet mérése

Hőmérséklet mérésére, ill. hőmérséklet-változás érzékelésére alkalmas minden olyan eszköz, amely a hőmérséklettel arányosan változtatja valamely fizikai jellemzőjét. A hőmérséklet-érzékelők fizikai jellemző szerinti csoportosítása a következő:

- hőmérséklet-változás hatására bekövetkező *térfigatváltozáson alapuló* folyadéktöltésű *hőmérők*,
- hőmérséklet-változás hatására bekövetkező *hosszváltozáson alapuló* táglalrudas, ill. kettősfémes (ikerfémes) *hőmérők*,
- hőmérséklet-változás hatására bekövetkező *ellenállás-változáson alapuló* fém és félvezető anyagrai *hőmérők*,

– hőmérséklet-változással arányos *feszültség-változást létrehozó hőelemek*, ill. *p – n átmenetek*,
– *sugárzásmérők*.

A felsorolásban szereplő mérési módszerek közül jónéhányat – annak ellenére, hogy kimenőjele nem villamos mennyiség – az automatizálásban előszeretettel alkalmazzák.

13.6.1. Folyadéktöltésű hőmérsékletmérők

A legrégebbi, mindenki által jól ismert mérési eljárás a folyadéktöltésű üveg hőmérő. A töltőfolyadék térfogatváltozása alapján a viszonyítási skála segítségével határozható meg a hőmérséklet.

Meghatározott értékű elmozdulással alakítható a térfogatváltozás, ha a tágló folyadékot zárt, de elmozdulásra vagy tágulásra képes térbe zárjuk. Az elmozdulás mértékét a már megismert módszerek valamelyikével fejezhetjük ki.

13.6.2. Ikerfémes hőmérséklet-érzékelők

Az ikerfém két, egymástól nagymértékben különböző hőtágulási együtthatójú fém egymáshoz rögzítésével készül. Hőmérséklet-növekedés hatására a két rész különböző mértékben nyúlik, és ez okozza a lemezek elhajlását. Az elhajló lemezek elmozdulásának mérésére számos módszert ismertünk meg az elmozdulásmérés tárgyalásakor. Leggyakrabban érintkezőpárt működtetnek az elmozdulás egy határértékének elérésekor.

13.6.3. Ellenállás-hőmérők

Ellenállás-hőmérőkből típusukat tekintve fém és félvezető alapú megoldások ismeretesek.

Ismeretes, hogy a fémek többsége a hőmérséklet-változás hatására változtatja villamos ellenállását. Hőmérsékletmérésre használt fém ellenállások tulajdonságaival már foglalkoztunk. Megállapíthatjuk, hogy nagy pontosságú, gyors mérések végezhetőek velük.

A fém ellenállás-hőmérők alapellenállását a szabvány rögzíti. Így 10, 50, 100 és 500 Ω ellenállás tartozhat 273 K értékhez.

A *termisztorok* félvezető alapanyagú elemek. Jellemzőjük, hogy ellenállásuk a hőmérséklet változásával nem lineárisan változik.

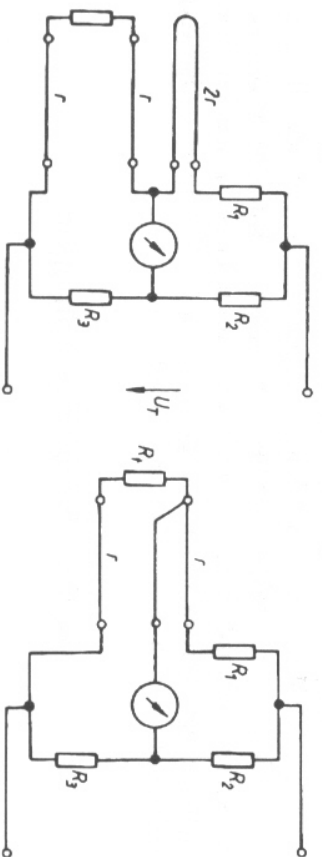
A termisztorok hőmérsékleti tényezője jóval nagyobb (kb. tízszerese) a fémek hőmérsékleti tényezőjénél. Ez a tulajdonság teszi alkalmassá őket ipari és automatizálási felhasználásra.

A legelterjedtebb mérési módszer a 12.1.7. d) pontban ismertetett híd-kapcsolás. Alkalmazásakor figyelembe kell venni – az ellenállás-változás nagysága mellett el nem hanyagolható – csatlakozóvezetékek ellenállását, ill. azok hőmérsékletfüggését. A hiba a négyvezetékes vagy a háromvezetékes mérési eljárással küszbölhető ki.

A négyvezetékes mérési kapcsolás [1. a 184a) ábrát] hídkapcsolásának egyik ágába az ellenállás-hőmérő csatlakozóvezetékeinek megfelelő értékű r ellenállás kétszeresét kapcsolják. A csatlakozó vezetékpár anyagával megegyező kompenzáló vezetékpárt ugyanazon a nyomvonalon építik ki, amelyiken a csatlakozó vezetékpár halad. Ezáltal a hőmérséklet-változások mindkét vezetékpárra egyformán hatnak, így a miatta létrejövő ellenállás-változás nem hamisítja meg a mérési eredményeket.

A háromvezetékes mérési eljárás [184b) ábra] egy-egy vezeték a híd-ágakhoz kapcsolódik, és egy vezeték ellenállása a galvanométer ellenállásához adódik. A csatlakozóvezetékek azonos (r) ellenállásúak.

Napjaink korszerű hőmérsékletmérő műszerei rendszerint áramgenerátorral táplálják a mérőelemet, és a négy-sarkúan bekötött ellenállás feszültségességét mérik. A mérőeszköz legtöbbször digitális feszültségmérő.



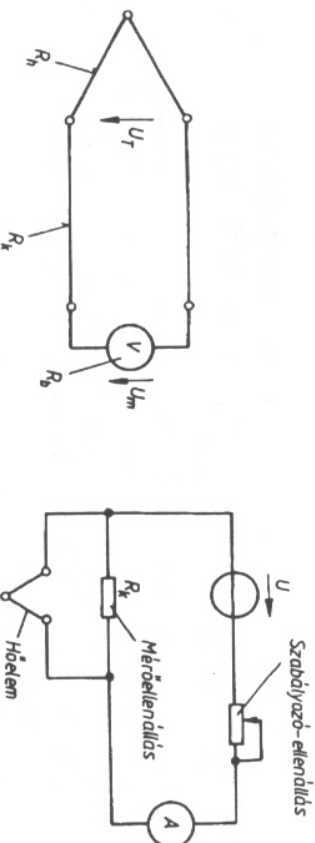
184. ábra. Ellenállás-hőmérő kapcsolása a) négyvezetékes; b) háromvezetékes mérési kapcsolás

13.6.4. Hőelemes hőmérsékletmérők

A hőelemek működésével, felépítésével és legfontosabb tulajdonságaival már foglalkoztunk, így ebben a szakaszban a hőelemekhez használt legfontosabb hőmérőelem mérési áramkörökkel ismerkedünk meg.

A hőelemeknek kis feszültségeket kell nagy pontossággal mérniük. Erre a *Dèprez-műszerrel*, a kompenzációs módszerrel, és a nagy bemeneti ellenállású elektronikus műszerrel való feszültségmérés kinalkzik.

A *Dèprez-műszerrel* egyszerű a mérés, de a mérőkörtben néhány milliamperes áram folyik, valamennyi csatlakozási pont hőelemként viselkedik és a csatlakozásoknál jelentkező Peltier-hatás meghamisítja a mérést (185. ábra).



185. ábra. Hőelem feszültségének mérése *Dèprez-műszerrel*

186. ábra. Hőelem feszültségének mérése kompenzációs módszerrel

Az ábra jelöléseivel a mért feszültség:

$$U_m = \frac{R_b}{R_h + R_k + R_b} U_T.$$

Az ellenállásos osztóból kialakuló szorozótényező egyhez közeli értéke azt jelenti, hogy nagy belső ellenállású műszerre volna szükség, az ilyen állapotú mágnesű műszerek azonban rázásérzékenyséjük miatt ipari környezetben nem felelnek meg.

A *kompenzációs mérés* (186. ábra) előnye, hogy pontossága független a mérőkör ellenállásaitól. A pontosságot az árammentes állapotot jelző árammérő érzékenysége határozza meg. Hátránya a mérés nehézsége.

Az *elektronikus feszültségmérő* módszerek – melyeket korábban megismertünk – nyújtják a legkedvezőbb mérési eredményt. Nagy belső ellenállásúak, tehát kis árammal terhelik a hőelemet, a mérés folyamata automatizálható, az eredmény könnyen megjeleníthető.

13.7. Gázok alkotóelemeinek mérése

Gázösszetétel mérésére igen sokféle módszert dolgoztak ki. A mérések a vegyiparban és a tüzeléstechnikában igen fontosak. A vegyipari gázok mérésével

mostani tanulmányaink során nem foglalkozunk. A tüzeléstechnikában a nagyobb hatásfok elérése és a környezetszennyezés csökkentése érdekében fontos az égéstermékek vizsgálata. A járműiparban a gépkocsik kipufogógázainak összetételét kell ismerünk.

13.7.1. Hővezető képesség mérésén alapuló módszer

Az egyes anyagok – így a gázoké is – hővezetési tényezői eltérnek egymástól. Így ha mérni tudjuk a hővezetési tényezőt, vagy egy azzal arányos jelet, akkor abból a teret kitöltő anyagra következtethetünk.

Gázok összetevőinek mérésére készült hővezetési elvű berendezésekben egy vékony, meleg huzal mellett lassan áramoltatják a vizsgált gázt. A huzal hőmérséklete attól függően változik, hogy mekkora a gáz hővezető képessége. A hőmérsélet változásával változik a huzal ellenállása is, és ezért az elemzést ellenállásmérésre vezethetjük vissza.

A mérőkamra hosszú, vékony tér, amely biztosítja, hogy csak hővezetés és ne pl. hőáramlás útján hűljön az érzékelő. Benne kb. 100°C-ra melegített platina ellenálláshuzal található, s ezen az alacsony hőmérsékleten a gázalkotók ún. katalitikus égése még nem következik be. A mérőkamra mellett összehasonlító kamrát találunk, melyben az összehasonlítás alapját adó gázt áramoltatják.

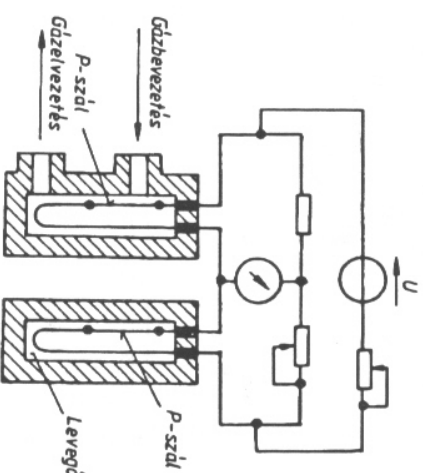
Az ellenállás-változást hídkapcsolással mérik a híd kimenőfeszültségével. A műszereket térfogatszázalék mérésére skálázzák, pontosságuk 1...5 %.

13.7.2. Katalitikus égéskor keletkező hőmennyiség mérésén alapuló módszer

A katalitikus reakcióhő mérésén alapuló gázelemzők mérőkamrájában több száz °C-ra felfűtött platinaszál van, amely mellett az elhaladó gáz éghető komponense a gázban levő oxigénnel egyesül. A platinaszál katalizátorként vesz részt az oxidációs folyamatban. Az égés közben fejlődő hő növeli a platinaszál hőmérsékletét, és ennek hatására nő a villamos ellenállása. Az izzított huzal ellenállás-változását a szokásos híd módszerrel mérik. A vonatkoztatási alap a mérőkamrán kívüli összehasonlító kamra, amelyben a platinaszálalat levegővel töltött zárt térben tartják. E berendezés elvi vázlatát látjuk a 187. ábrán.

A gázok elégésekor keletkező hőmennyiség különböző, függ egyrészt attól, hogy az égés mennyire tökéletes a kamrán belül, másrészt a vizsgált gáz fajtájától és százalékos összetételétől.

A katalitikus elven működő gázelemzők pontosságát befolyásolja a gázok hővezető képessége, a keletkező égéstermékek és a nem éghető gázok katalitikus hatást ronító jelenléte. Ezért minden készüléket a vizsgált gázfajtaához hitelesíteni kell. A gázelemzők nagy részét CO- és H₂ mérésére alakítják ki. Mérésük általában 0...10 % az alkotó térfogatszázalékára vonatkoztatva. Az elérhető mérési pontosság 2...5 %.



187. ábra. Katalitikus égéskor keletkező hőmennyiséget mérő berendezés elvi vázlata

13.7.3. Infravörös sugárzás elnyelésén alapuló módszer

A gázok az infravörös sugárzást a gáz fajtájától, a gázréteg vastagságától és a sugárzás hullámhosszától függő mértékben nyelik el. Mérési célokra az infravörös sugárzás 2...15 μm hullámhosszúságú spektruma a legalkalmasabb. A mérés azon alapszik, hogy a vizsgált gázt infravörös sugárzóval átvi-lágítjuk, és az elnyelt sugárzás hullámhosszából az anyagfajta, a sugárzás energiájának mérséből pedig a gázalkotó mennyiségére következtetünk.

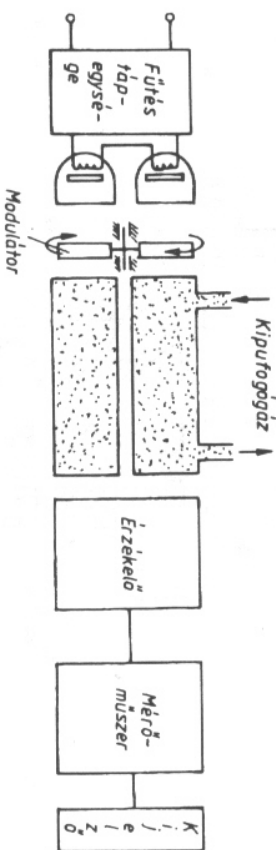
Az infravörös sugárzás elnyelésén alapuló gázelemzőknek több típusa ismert. Aszerint, hogy az infravörös sugárzó az infravörös tartomány teljes spektrumát vagy csak a vizsgálandó gázra jellemző spektrumot hozza létre, beszélhetünk *nemdiszperzív* (NDIR) és *diszperzív* (DIR) infravörös gázelemzőkről.

A nemdiszperzív infravörös gázelemzők sugárforrása képes előállítani a méréshez szükséges 2...15 μm hullámhosszúságú folyamatos sugárzástartó-

mányt. A diszperzív sugárforrások csak az adott gázra jellemző hullámhosszú sugárzást állítják elő.

Az érzékelés módja szerint is megkülönböztethetjük az infravörös gáz-elemzőket. Az ún. *pozitív szűrőssel* dolgozó gáz-elemzők érzékelője kizárólag csak azokat a sugárzásokat nyeli el, amelyeket a vizsgált gáz is képes elnyelni, míg a *negatív szűrőssel* kialakított rendszerek érzékelője a teljes sugárzástartomány elnyelésére képes (pl. hőelem).

A különböző technikai nehézségek és az elérni kívánt mérési pontosság miatt világszerte a nemdiszperzív, pozitív szűrőssel dolgozó infravörös gáz-elemzők terjedtek el. E berendezés tömbvázlatát a 188. ábrán látjuk.



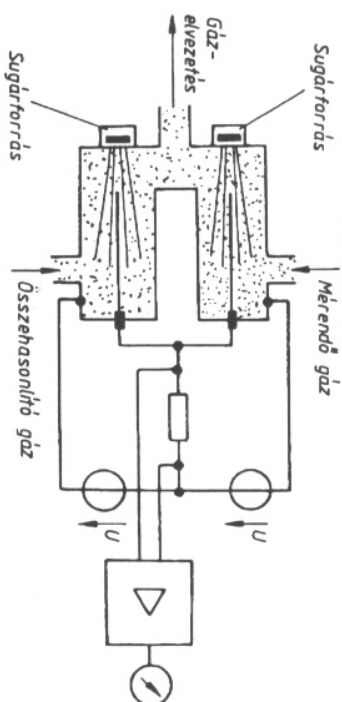
188. ábra. Infravörös sugárzás elnyelésén alapuló gáz-elemző tömbvázlata

Az infravörös sugárzó sugárzását a forgó kerék periódikusan megszakítja. Az így modulált sugárzás fele az összehasonlító gázon, másik fele a mérendő gázon halad át. Az összehasonlító gáz az infravörös sugárzás energiáját nem nyeli el, így az itt haladó sugár gyengítetlenül ér az érzékelőhöz. A másik nyaláb energiáját a vizsgált gáz molekulái koncentrációjuknak megfelelően csökkenti, így az kisebb energiataralommal éri el az érzékelőt. Az érzékelő az energiakülönbséggel arányos villamos jelet szolgáltat, melyet mutató vagy számjegyes kijelzőn jelenítenek meg. A sugárzás modulálására az érzékelő működése miatt van szükség, ugyanis kapacitív nyomáskülönbség-érzékelőt alkalmaznak.

13.7.4. Radioaktív módszer

A radioaktív úton való gáz-elemzés alapja, hogy az egyes gázatomok ionizálhatósága egymástól eltérő. Radioaktív sugárzásnak kitett gázok ionizációja az alkalmazott sugárforrástól, a mérőelektródákra kapcsolt feszültségtől és a gáz tulajdonságaitól függ. Így állandó nyomás, hőmérséklet és elektrodafeszültség mellett az ionizációs áram mérésevel a gázalkotókra következtethetünk.

A gyakorlatban az összehasonlító eljárás honosodott meg. Ennél a mérendő gáz ionizációs áramát összehasonlítjuk a vizsgált összetevővel azonos alapanyagrú tiszta gáz ionizációs áramával, és az eltérést mérjük. A műszer elvi felépítése látható a 189. ábrán.



189. ábra. Radioaktív ionizációs gáz-elemzés elvi vázlata

Hasonló mérési elvű, ha a vizsgált gáz ionizációját más úton, pl. égetéssel érjük el. Az így vizsgálható gázösszetevők köre azonban erősen korlátozott.

13.7.5. Az oxigénkoncentráció mérése

A gáz-elemzéseknél meg kell említeni az oxigénkoncentráció összehasonlító mérését. Az erre alkalmas mérőszközt, a galvanikus oxigénkoncentrációs cellát a 12.4.3. részben már megismerhettük. Ezt az átalakítót speciális tüzeléstechnikai feladatra, a gépkocsik kipufogógáza oxigénkoncentrációjának mérésére fejlesztették. A cél a robbanómotorok levegő-tüzelőanyag keverékének ideális értékén ($\lambda=1$) tartása.

14. Műszerek és átalakítók a gépjárművekben

A gépkocsikkal szemben támasztott fokozódó közlekedésbiztonsági, környezetvédelmi és kényelmi követelmények az érzékelők, a jelfeldolgozó elektronika, a beavatkozószerkek és a műszerek tökéletesítését, valamint az elektronika egyre szélesebb körű elterjedését eredményezte.

A berendezéseket két nagy csoportra oszthatjuk.

A mérő-, jelző-, figyelő- és kiszolgálóegységek feladata a vezető tájékoztatása a gépkocsi viselkedéséről, a fontosabb szerkezeti egységek állapotáról, ill. a várható üzemzavarokról. Ezenkívül a gépkocsi nemkívánatos használatát (ilyen pl. a helytelen kezelés vagy a gépkocsi eltulajdonítása, melyeket tiltó, ill. figyelmeztető áramkörök jeleznek) segítenek elkerülni.

A motort és a meghajtást *vezérlő, ill. szabályozó egységek* feladata sokrétű. Ide tartozik a gyújtás, az üzemanyag-adagolás, a kipufogógáz-összetétel és a fordulatszám optimális értéken tartása, vagy a forgatónyomaték és terhelés optimalizálása, ill. a kerékmegecsúszás korlátozása is.

Egyes szerkezeti megoldásoknál nem mindig választható szét a funkcionális elemek feladata, mert egyazon érzékelő kettős feladatot is elláthat (pl. az ABS és ASC működéséhez ugyanazon érzékelők jeleit használják).

Ebben a fejezetben a már megismert műszerek és érzékelők, ill. átalakítók alkalmazására találunk példákat. Az ismertetés természetesen nem teljes, csak a legjellemzőbb megoldásokat tartalmazza. Az érzékelők és műszerek működésére, tulajdonságaira nem térünk ki. Most az alkalmazás helyét, körülményeit kívánjuk bemutatni.

14.1. Mérőérintkezők

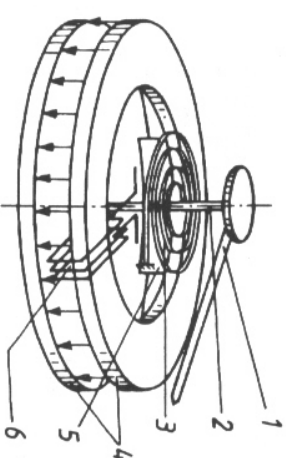
A mérőérintkezők a gépjárművek legelterjedtebb, igen gyakran alkalmazott átalakítói. Az egyszerűbb autóktól a legjobban felszerelt típusokig mindenütt találkozzunk velük. Jelzőlámpával, ill. elektronikus kijelzővel adnak információt a gépkocsivezető számára.

Ilyen pl. az ajtók becsukását vagy a rögzítőfék (kézifék) behúzott állapotát jelző érintkező. A fékfolyadék szintjének csökkenését jelző érintkező a folyadékszint tetején levő úszó működtetheti. A motor olajnyomásának legkisebb értékét jelző kapcsoló akkor zár, ha a motor olajnyomása olyan kis értékre csökken, hogy a motor károsodhat.

14.2. Jelzőműszerek

Villamos jeleket a gépjárművekben Déprez-, kereszttekercses, ikerfémes (bimetálos) és digitális műszerekkel mérnek.

A Déprez-műszerek különleges kialakítása nagy szögelfordulást tesz lehetővé. A műszer szerkezeti felépítése a 190. ábrán látható.



190. ábra. Déprez-műszer szerkezete

1 mutató; 2 tengely; 3 rugó; 4 pólsugyűrű; 5 állandó mágnes; 6 lengőtekercs

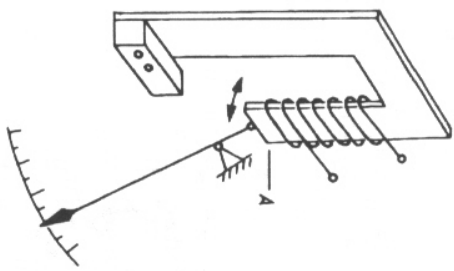
Az ikerfémes műszerek a bimetal hőmérséklet-változás hatására létrejövő deformációját alakítják szögkitéréssé. Ha az ikerfémlemez végét rögzítjük, másik végének elmozdulását mutatóval kifejezhetjük. A villamos jellel arányos hőmérséklet-változást a lemezre helyezett tekercsben folyó áram hőhatása hozza létre. A mérőmű a környezeti hőmérsékletének változására is reagál, hiszen a lemez a hő hatására alakváltozást szenved. Ennek kiküszöbölésére a bimetal a 191. ábrán látható alakúra készítik.

A környezet hőmérsékletének változására az U alakú lemez mindkét szára elhajlik, így a végpont az A helyben marad. A fűtőtekercsen átfolyó áram az effektív értékével arányos elmozdulást hoz létre, melyet a lemezvéghöz kapcsolt mutató jelez. A műszer tehát az átfolyó áram effektív értékét méri. Alkalmas áram-, feszültség- és ezek alapján természetesen ellenállásmérésre is. A műszer pontossága nem hasonlítható össze a korábban megismert megoldásokéval.

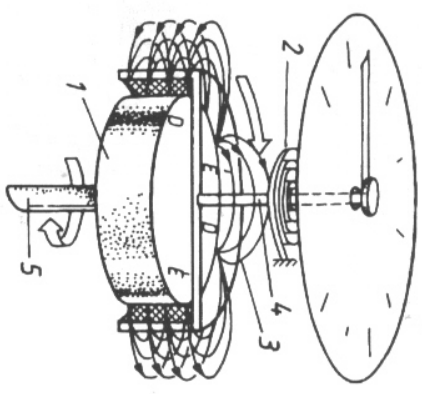
Pontosabb mérésre a kereszttekerces műszer alkalmazmas. Tudjuk, hogy vele a tápfeszültség változásának hatása kiküszöbölhető, ezért ellenállásos átalakítók jelét e műszerrel mérik.

A digitális műszerek a jeladótól érkező jeltől független feszültség-, vagy frekvenciamérők lehetnek.

Számos gépkocsiban mechanikus hajtású sebességmérőt találunk. Ezek örvényáramú mérőművel alakítják át a sebességgel arányos fordulatszámot szögelfordulássá (192. ábra).



191. ábra. Ikerfémes műszer szerkezete



192. ábra. Örvényáramú mérőmű felépítése

Ez a mérőmű az indukciós műszerek közé tartozik. A 3 mozgórészben – mely egy alumíniumserleg – a forgó 1 állandó mágnes hatására feszültség indukálódik, amely a 4 tengelyen át mozgatja a mutatót. A mozgórész rövidezart vezetőnek tekinthető, amelyben a feszültség hatására áram indul meg. Az áram és az állandó mágnes egymásra hatásaként a mozgórészre kitérítőnyomaték hat, mellyel a 2 rugó visszatérítő nyomatéka tart egyensúlyt. A kitérítőnyomaték, és így a műszer kitérése is az 5 hajtótengely fordulatszámával, vagyis a gépkocsi sebességével arányos.

14.3. A mérő- és jelzőműszerek érzékelői

14.3.1. Szintérzékelők

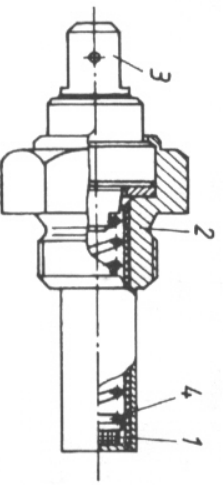
A tüzelőanyagszint mérésével a gépkocsivezető tájékoztatást kap a tartályban levő tüzelőanyag mennyiségéről. A méréssel szemben támasztott pontosági igény kicsi. A legtöbb gépkocsiban a műszer a legkisebb szint elérésekor figyelmeztetőjelzést ad a vezető számára.

Az érzékelő lehet potenciométeres. Ekkor a tartályban elhelyezett úszó egy potenciométer csúszkáját mozdtítja el, így ellenállás-változássá alakítja a folyadékszint változását.

A gépkocsikban az üzemanyagtartály helyét és alakját a biztonsági szempontok és a rendelkezésre álló tér határozza meg. A szabályos geometriai formáktól eltérő alakú tartályokhoz a karos mechanizmust nem igénylő kapacitív mérőátalakítót szerelik. Előnyve, hogy a tartály alakjából adódó nemlineáris változást a kapacitás fegyverzetének kialakításával kompenzálni lehet.

14.3.2. Hőmérsékletérzékelők

A motor üzemállapotáról tájékoztat a hűtővíz hőmérséklete. A víz hőmérséklet mérését általában ellenállás-változáson alapuló átalakítóval, közülük is leggyakrabban a félvezető alapanyagú negatív hőmérsékleti tényezőjű (NTK) termisztorokkal végzik. A tárcsatermisztor megfelelő tokozásban építik be (193. ábra).



193. ábra. Hűtővíz hőmérsékletét mérő termisztoros jelátalakító
1 NTK termisztor; 2 ház; 3 villamos csatlakozó; 4 nyomórugó

A kenőolaj hőmérséklete is igen fontos információt ad a motor állapotáról. Mérténi pl. az ellenállás-átalakítós olajnyó-pálcával lehet (194. ábra).

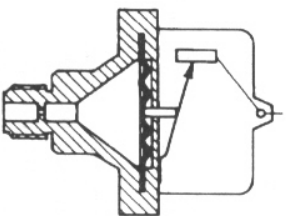


194. ábra. Hőmérséklet-érzékelővel ellátott olajművópálca

14.3.3. Nyomásérzékelők

A gépjárművek tipikus nyomásmérési feladata a kenőolaj nyomásának mérése.

A villamos nyomásmérő érzékelők általában ellenállásos, pl. potencióméteres, vagy nyúlásmérő bélyeges jelátalakítóval működnek (195. ábra).



195. ábra. Potencióméteres nyomásátalakító

A jelátalakító és a mérendő nyomás terét membrán választja el. A membrán deformációját – nyomás hatására létrejövő elmozdulását vagy a kialakuló nyomóerőt – az érzékelő ellenállás-változássá alakítja.

14.4. A motor és a meghajtás vezérlésének érzékelői

A gépkocsi környezetkímélő, gazdaságos és biztonságos üzemeltetése fokozott követelményeket támaszt a konstruktorok elé. Az összetett elektronikus motorvezérlő rendszerek, a nagyobb biztonságot nyújtó hajtásvezérlés nélkülözhetetlen része az egyes fizikai mennyiségek érzékelése. Egy mai követelményeket kielégítő vezérlőrendszerrel ismerni kell a motor fordulatszámát, a beszívott levegő mennyiségét, a hűtővíz hőmérsékletét, a fojtószelep állását,

a kipufogógáz oxigéntartalmát, a tüzelőanyag-fogyasztást, a kerekek szögsebességét.

Az elektronikus rendszerek számára a jelátalakítók kimeneti jele feszültség vagy frekvencia.

14.4.1. Fordulatszámérzékelők

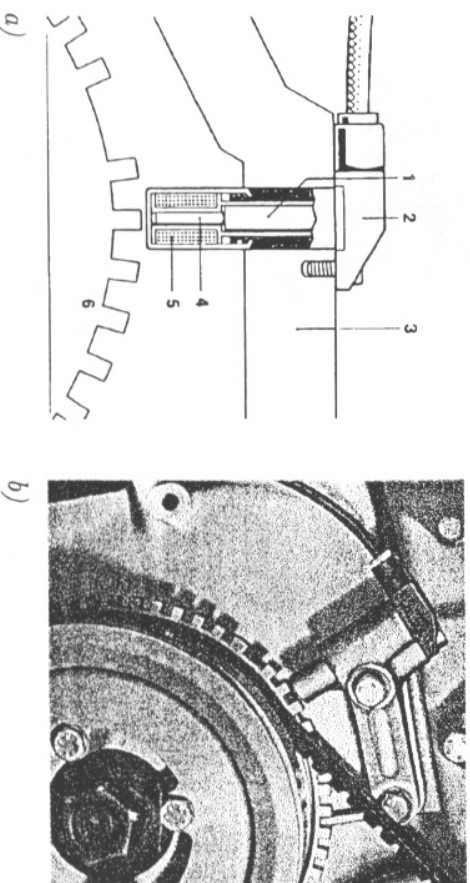
A motor fordulatszámja többféleképpen mérhető. A fordulatszámmal arányos jel a gyújtórendszerből (pl. a gyújtótranszformátor 1-es pontjáról) vagy a főengelyről vehető. A főengelyen való mérésnél a fogaskerék-koszorú elé helyezett induktív érzékelő kimeneti jele, vagy az e célra elhelyezett fogazott tárcsa előtti érzékelő szolgáltatja a fordulatszámmal arányos kimeneti jelet.

Mindegyik megoldás a fordulatszámmal arányos frekvenciát mér.

14.4.2. A főengely helyzetének érzékelői

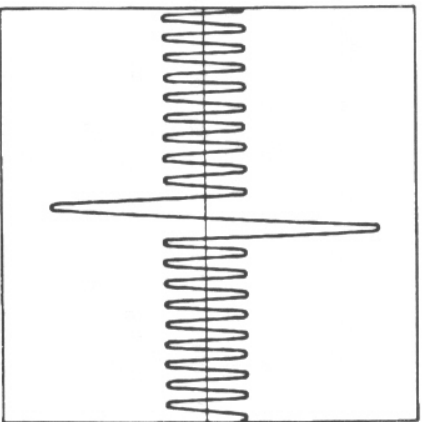
A főengely helyzetének érzékelése minden esetben a főengelyen ismert helyzetben levő jel segítségével lehetséges.

Ha a fordulatszámmal arányos jelet a főengelyen e célra elhelyezett fogazott tárcsa szolgáltatja, akkor ez egyben alkalmas a főengely helyzetének érzékelésére is oly módon, hogy egy fog hiánya jelenti az 1 henger felső holt-pontjához viszonyítva megadott – és típusonként eltérő – szöghelyzetet. Az érzékelő elhelyezését a 196. ábrán, kimeneti jelét a 197. ábrán látjuk.

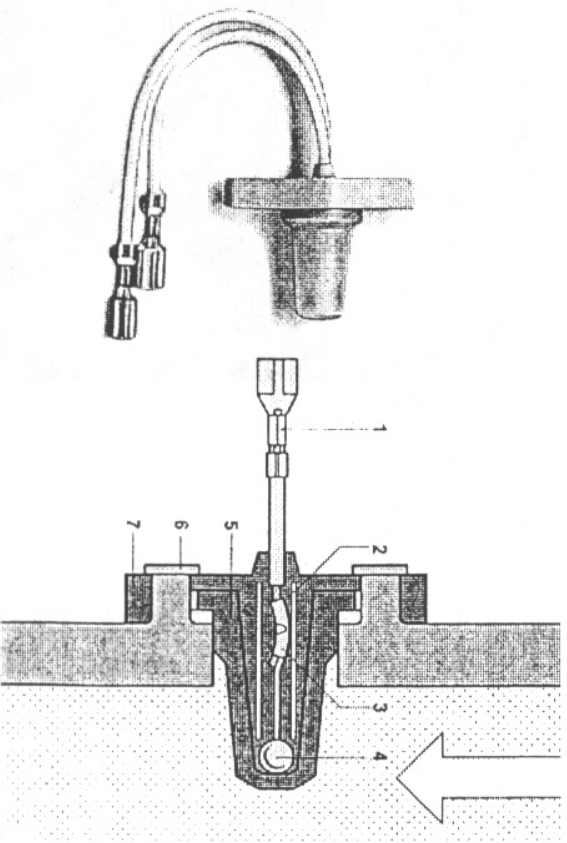


196. ábra. A főengely fordulatszámának és helyzetének érzékelése

Ha a fordulatszám mérése nem teszi lehetővé a főtengely helyzetének érzékelését, akkor egy, a főtengellyel együtt mozgó jel pozícióját érzékelik, általában az előzőhöz hasonló induktív jeladóval.



197. ábra. Induktív fordulatszám- és helyzetérzékelő kimeneti jele



198. ábra. Beszívott levegő hőmérsékletének érzekelője
1 villamos csatlakozás; 2 szigetelőcső; 3 vezeték-összekötés; 4 NTK termisztor; 5 ház

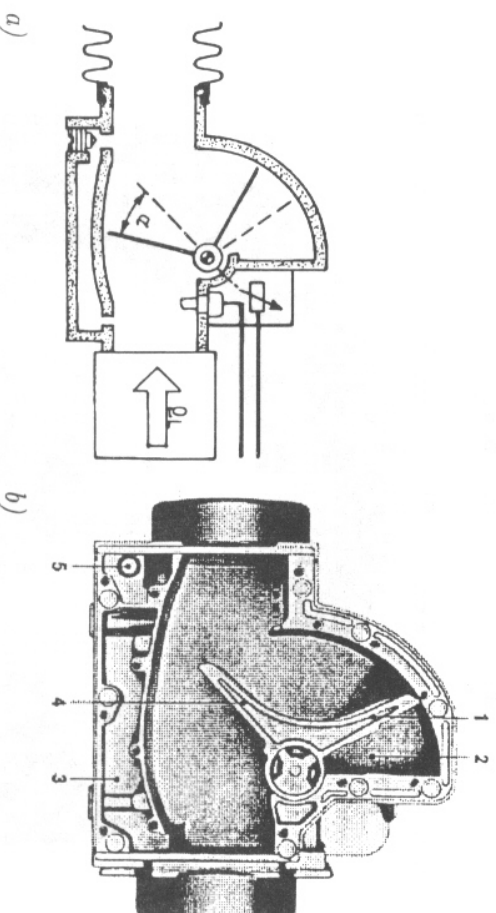
14.4.3. Hőmérsékletmérés

A hűtővíz és a beszívott levegő hőmérséklete a motor-, ill. befejskendezés-vezérlők fontos bemenő adata. Mérésük NTK termisztorokkal történik. A víz hőmérséklet érzékelőjére korábban láttunk példát, a 198. ábrán a levegő hőmérsékletének mérésére alkalmas átalakítót látnunk.

A hűtővíz és a levegő hőmérsékletének mérésénél egyaránt a hőmérsékletfüggő ellenállás a feszültségosztó egyik tagja, így a jelfeldolgozás során a hőmérsékletiől függő feszültségváltozást figyelik.

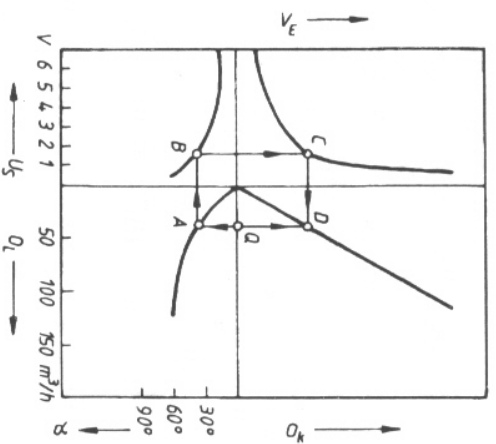
14.4.4. Levegőmennyiség-mérés

A levegőmennyiség-mérés egyik eszköze a torlócsappantyús levegőmennyiség-mérő (199. ábra).

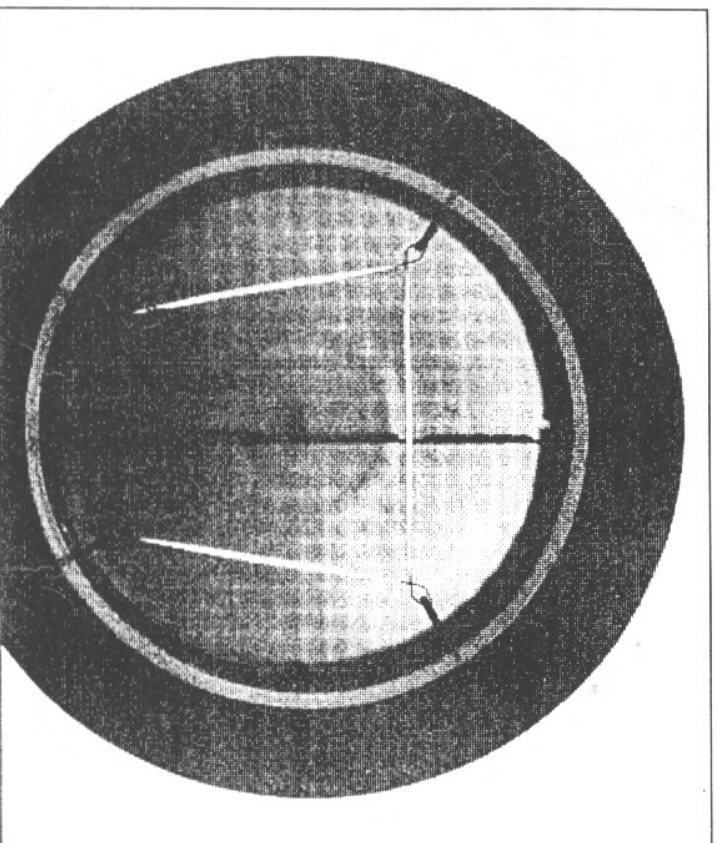


199. ábra. Torlócsappantyús levegőmennyiség-mérő

A mérés elve a következő: a levegőáram útjába helyezett torlócsappantyúra az áramlás irányának megfelelő erő hat. Ez az erő egy rugó visszatérítőereje ellenében elforgatni igyekszik a torlócsappantyút. A szögelfordulás növekedésével az átáramlási keresztmetszet nő, az átáramló levegő sebessége és a torlónyomás csökken, amíg a torlócsappantyúra ható erőnek és a rugóerőnek a forgáspontra vett nyomatéka egyenlő nem lesz. Ez azt jelenti, hogy adott térfogatáramhoz adott szögelfordulás tartozik. A gyakorlati elfordulási szög a 0...60 fok tartományba esik.



200. ábra. A torlócsappantyú jelleggörbéi



201. ábra. Hőanemométer platinaszál érzékelője

A torlócsappantyú tengelye a potenciométer csúszkáját mozgatja. Ki-
menőjeként a csúszka és a potenciométer pozitív tápfeszültsége közötti fe-
szültséget használják, így kis levegőmennyiségnél a feszültség értéke nagy,
nagyobb levegőmennyiségnél kicsi. A beszívott levegő térfogatárama (Q_L), a
torlócsappantyú szögelfordulása (α), a kimenőfeszültség (U_S), a keverék tér-
fogatárama (Q_K), valamint a befecskendezett üzemanyag mennyisége (V_E)
közötti összefüggést a 200. ábra mutatja be.

A torlócsappantyúval a csillapítólap mozog együtt. Ennek feladata a
motor szívásakor fellépő, a levegőmennyiség-mérőre ható pulzálások csök-
kentése.

Az elméleti keverési arány biztosításának feltétele az 1 kg benzín és
14,7 kg levegő arányának betartása. Ez a feltétel a beszívott levegő töme-
gének mérését kívánja, a torlócsappantyús megoldás pedig térfogatáramot
mér. A tömegáramra ebből csak következtetni lehet, feltételezve a beszívott
levegő sűrűségét.

A levegő tömegáramának mérésére a hőanemométer – azaz az áramló
közeg útjában elhelyezett hevített platinaszál lehűlésének mérésén alapuló
műszer – alkalmas.

Ezekben a műszerekben az izzószál trapézalakban van kifejlesztve (201.
ábra). A mérőáram nyugvó levegőben kb. 500 mA, teljes terhelésnél kb.
1700 mA. Az izzószál hőátadását a ráragadó szennyeződések jelentősen be-
folyásolják. Ezeket időnként az érzékelőről leegéltük. A tisztítások a szál élet-
tartamát csökkentik, ezért az újabb vezérlések már nem minden motorállás
után égetnek.

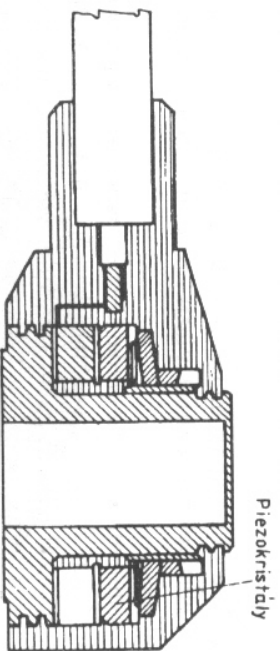
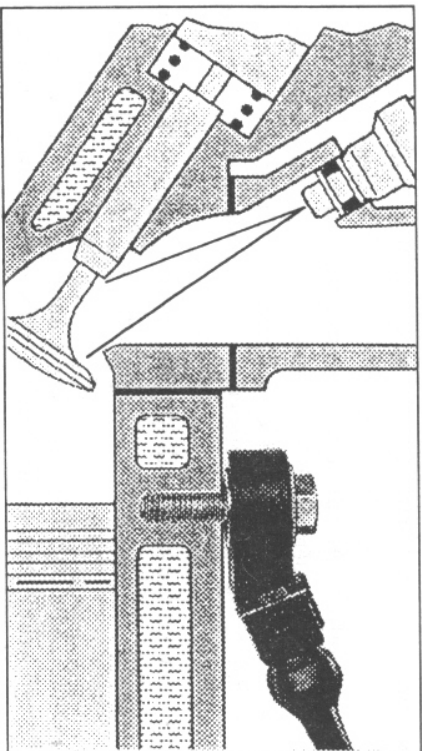
14.4.5. A fojtószelep helyzetének érzékelői

A fojtószelep állását – azaz teljesen zárt (alapjárat) vagy teljesen nyitott
(teljes gáz) állapotát – fojtószelep-kapcsolóval figyelhetjük.

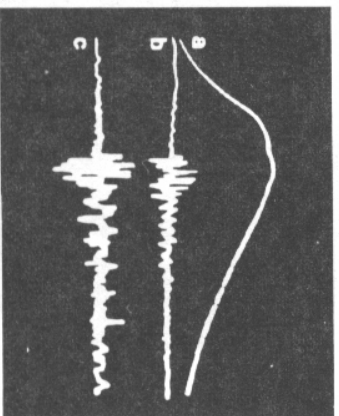
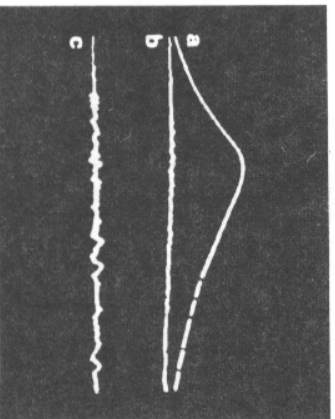
A fojtószelep helyzetének folyamatos érzékelése potenciométeres jeladó-
val lehetséges.

14.4.6. Kopogásérzékelők

A motortömbre szerelt kopogásérzékelő piezoelektromos érzékelő. Felszerelt
állapotát, ill. szerkezetét a 202. ábra, kimeneti jelét a 203. ábra mutatja.



202. ábra. Kopogásérzékelő



a)

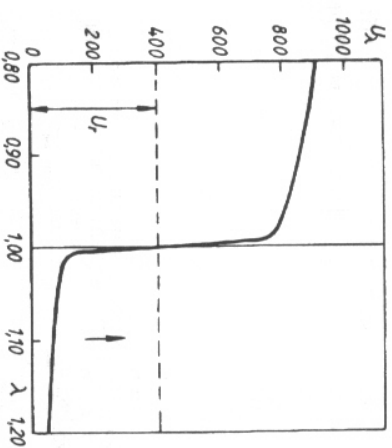
b)

203. ábra. Kopogásérzékelő kimeneti jele a) ábra: kopogás nélkül, b) ábra: kopogással

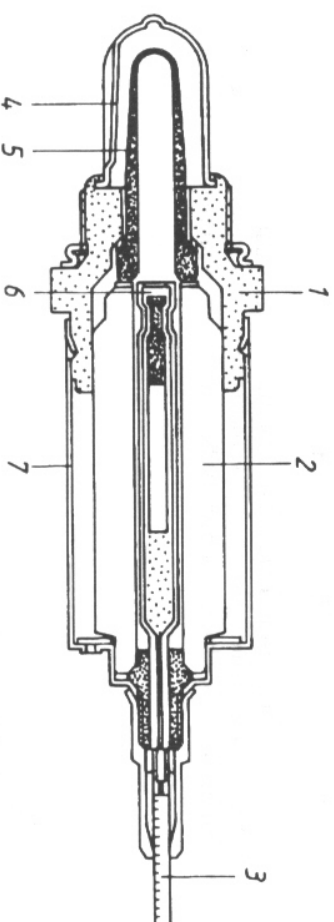
a nyomásváltozás a hengerben; b kopogásérzékelő szűrt jele; c kopogásérzékelő jele

14.4.7. Az oxigénkoncentráció mérése

A motorok károsanyag-kibocsátását szabályozott katalizátorral a legalacsonyabb mértékre csökkenthetjük. A szabályozás feladata a motorban végbe menő, lehetőleg tökéletes égéshez szükséges levegő-üzemanyag keverékarány biztosítása.



204. ábra. A lambdaszonda karakterisztikája



205. ábra. Lambdaszonda szerkezete

1 szondaház; 2 kerámia-tömcső; 3 csatlakozókábel; 4 védőcső résekkel; 5 aktív szondakerámia; 6 csatlakozás

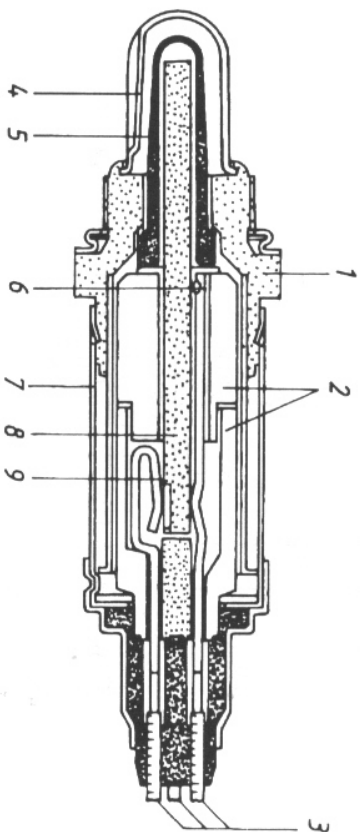
A szabályozóköör érzékelőeleme a lambdaszonda. Ez a galvanikus oxigénkoncentrációs cella a kipufogógáz oxigénkoncentrációját méri. Kimeneti jele feszültség, karakterisztikája határozott:

- $\lambda < 1$, azaz üzemanyagdús keveréknél a feszültség 800...1000 mV;
- $\lambda > 1$, azaz üzemanyagszegény keveréknél a feszültség kb. 100 mV (204. ábra).

A szonda szerkezetét a 205. ábrán látjuk.

A kipufogócsőbe szerelt szonda csak 250°C felett működik, 350...800°C között kapjuk a legjobb eredményt. Ezért a szondát úgy kell beépíteni, hogy a motor veszteségűje a szükséges üzemi hőmérsékletre felfűtse. Az üzemi hőmérséklet eléréséig a szonda működésképtelen, pedig éppen a hideg motornál kritikus a keverékképzés, és így a károsanyag-kibocsátás.

A lassú felmelegedés gyorsítására a szondába kerámia fűtőbetétet építenek. Az így kapott fűtött lambdaszonda (206. ábra) hőmérséklete független a kipufogógáz hőmérsékletétől, tehát felszerelése is kötetlenebb.



206. ábra. Fűtött lambdaszonda szerkezete

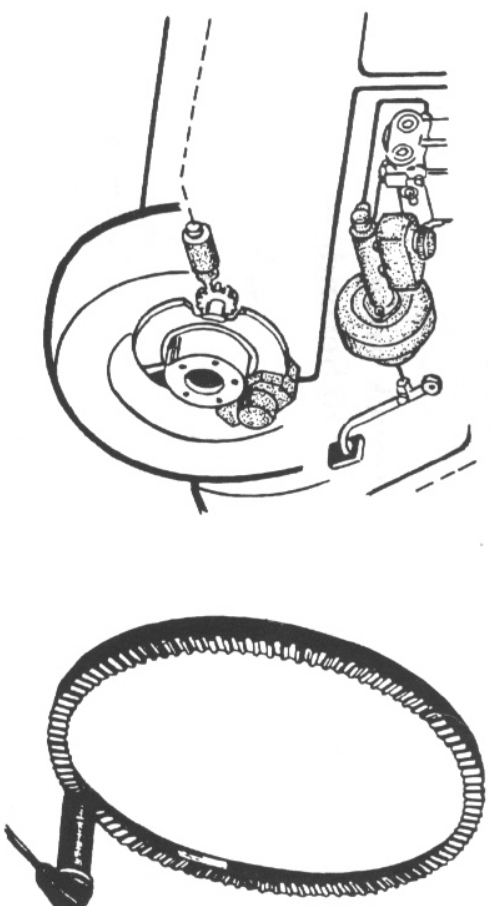
1 szondaház; 2 kerámiatömsző; 3 csatlakozóvezeték; 4 védőcső részekkel; 5 aktív szondakerámia; 6 csatlakozás; 7 védőburkolat; 8 fűtőbetét; 9 fűtőbetét-csatlakozás

14.4.8. A kerék szögsebességének mérése

Az utóbbi évek fejlesztőmunkájának forgalombiztonsági szempontból legfontosabb eredménye az elektronikus szabályzóval megvalósított kerékblokkolás-gátló, közismerten az ABS-rendszer.

Működéséhez elengedhetetlen a kerekek, ill. egyes megoldásoknál a kardántengely szögsebességének, ill. a szögsebesség változásának mérése.

A mérés a kerékre (vagy a kardántengelyre) szerelt fogaskoszorú és az előtte elhelyezett induktív érzékelő beépítésével lehetséges (207. ábra). A jeladó kimeneti jele frekvencia, mely a szabályzóval könnyen feldolgozható.



207. ábra. Kerék szögsebességének érzékelője

15. A gépjárművek vizsgálati módszerei és vizsgáló berendezései

Ebben a fejezetben a gépjárművek speciális mérési módszereit ismerhetjük meg. A méréseket ma már számos korszerű mérőberendezés segíti és teszi pontosabbá. Tanulmányaink során a mérési elvek elsajátítása a cél, ezért nem a berendezések megismerését tűztük elsődlegesen célul, hanem a klasszikus eljárások révén a mérési módszerek alapjait sajátíthatjuk el.

15.1. A gyújtórendszer vizsgálatára

15.1.1. A gyújtórendszer áramkörei és alkatrészei

A benzínüzemű belső égésű motor égésterébe juttatott (beszívott, befecskendezett) tüzelőanyag–levegő keverék égését a megfelelő időpontban ható rövid villamos ívvel (gyújtószikrával) indítják meg. Az ív létrehozásához szükséges feszültség 5...15 kV, a szükséges ivenergia 0,1...1,0 mWs. Energiaforrásként a legtöbb esetben a jármű akkumulátorát, ritkábban az e célra kialakított különleges állandó mágnesű generátort alkalmazzzák.

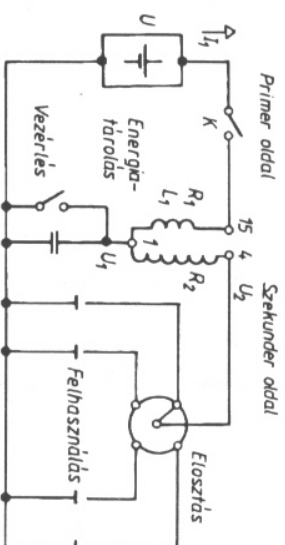
Az ív energiáját a kisütés előtt tekercsben vagy kondenzátorban tárolják. Előbbi esetben induktív, utóbbiban kapacitív energiatárolás gyújtásról beszélünk.

A gyújtórendszer feladata egyrészt a kisfeszültségű energiaforrásokból a szükséges nagyfeszültséget előállítani, másrészt impulzuszerűen, a megfelelő időpillanatban az adott henger égésterébe juttatni. A következőkben röviden ismertetjük a legelterjedtebben alkalmazott, legjobban áttekinthető hagyományos (akkumulátoros, induktív) gyújtórendszer működését (208. ábra).

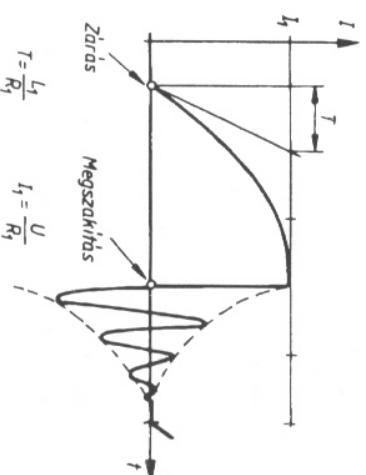
A K gyújtáskapcsoló bekapcsolat állapotában zárjuk a vezérlőmagnószakítót. A gyújtótranszformátor primer tekercsének L_1 induktivitása nem engedi az I_1 áram ugrásszerű növekedését. Ezért a zárást követően az áram meghatározható sebességgel (exponenciális függvény szerint) közelít az állandósult értékhez (209. ábra).

A belső égésű motor üzemszerű állapotában – a fordulatszámától függően – az áram eléri vagy jól megközelíti az állandósult állapotot. Ekkor az induktivitásban tárolt mágneses energia:

$$W = \frac{1}{2} L_1 I^2.$$



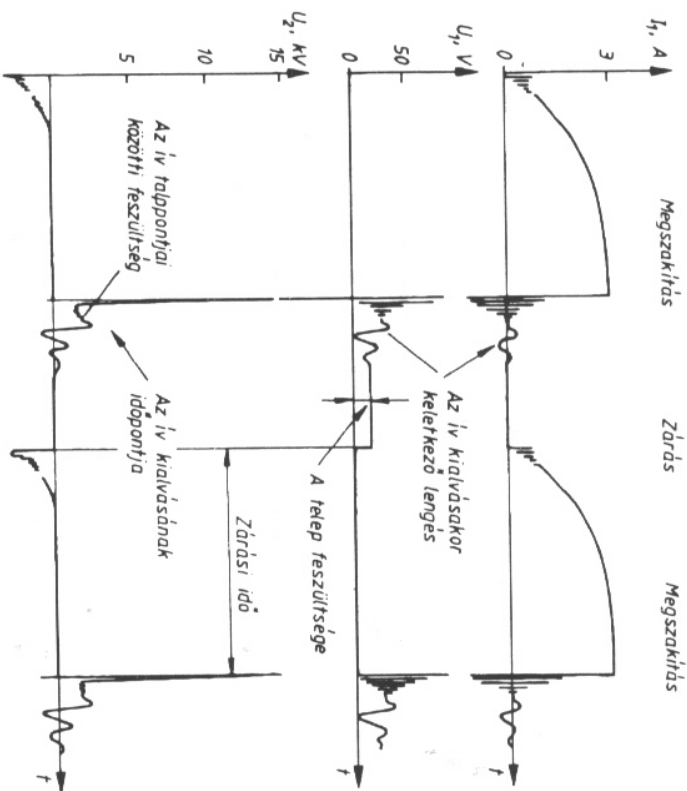
208. ábra. A hagyományos gyújtórendszer felépítése



209. ábra. A primer áram változása bekapcsoláskor és megszakítás után

A szekunder tekercsben akkor kapunk nagyfeszültséget, ha a primer áram a lehető legrövidebb idő alatt, a legnagyobb mértékben változik. Ideális lenne az ugrásszerű változás. Ez azonban – a már említett induktív hatás miatt – egyszerű megszakítással nem jöhet létre. Célunkat elérhetjük, ha a primer tekercssel sorba kötünk egy kondenzátort, és a megszakítót utóbbival párhuzamosan kapcsoljuk (l. a 208. ábrát). Helyesen megválasztott kapacitás esetén megszakításkor a primer kör árama nagyfrekvenciájú periódikus lengéseket végez. A 209. ábrán is látható, hogy ezzel a módszerrel megvalósíthatjuk a nagy sebességű áramváltozást. Ez a szekunder tekercs kivezetésén (4 jelű pont) a kívánt 15...20 kV-os feszültséget hozza létre. A primer áram

(I_1), a primer feszültség (U_1) és a szekunder feszültség (U_2) időfüggvényét a 210. ábrán láthatjuk.



210. ábra. Gyújtási folyamat időfüggvényei

A szekunder feszültségimpulzust általában az elosztófejjel juttatjuk el a megfelelő henger égésterébe, ahol a gyújtógyertya elektródjai között villamos ív jön létre.

Tapasztalatok szerint a gyújtórendszer akkor működik a legkedvezőbben, ha a megszakító zárási és nyitási idejének aránya kb. 3:2. Ha a teljes periódusidőt (pl. a két megszakítás közötti időt) vesszük 100 %-nak, akkor a zárási idő ennek kb. 60 %-a.

A megszakító elvi felépítését a 211. ábrán láthatjuk.

Az álló- és mozgórész között (más szóval: illő és kalapács) közötti legnagyobb távolság a megszakítóhézag. Ennek értékét az illő elmozdításával lehet változtatni. Ha a 211. ábra szerint az illőt magasabbra állítjuk és úgy rögzítjük (h kisebb lesz), nyilvánvaló, hogy a büttykös tengely kis elfordulásakor már záródnak az érintkezők. Ha az illőt süllyesztésével a megszakítóhézagot növeljük, a büttykös tengelynek az előbbinél jóval többet kell elfordulnia, hogy a zárt állapot létrejöjjön.

Zárásszögnek nevezzük a büttykös tengely elfordulásának fokokban kifejezett értékét, miközben az érintkezők zártak. A megszakítóhézag és a zárasszög között az előbbiek szerint fordított arányosság áll fenn.

Négyütemű motorok hengereinek száma általában megegyezik a büttykös tengely N sarkainak számával (amennyiben valamennyi hengert egy elosztó lát el gyújtószikrával).

A büttykös tengely egy teljes körülfordulásával minden hengerben egy gyújtás (munkaütem) van. Két gyújtás közötti elfordulás (α_{gy}) mértékét tekintjük 100 %-nak. Négyhengeres motor esetén $N = 4$.

$$\alpha_{gy} = \frac{360^\circ}{4} = 90^\circ,$$

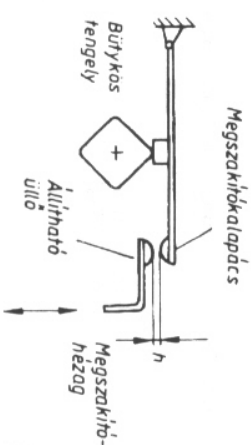
ebből

$$\alpha_z = 0,6 \cdot 90^\circ = 54^\circ.$$

(Pontos értékét a jármű gépkönyvében adják meg.)

A négyütemű motorok megszakítóját, ill. a büttykös tengelyt az elosztófejjel helyezik el. Az elosztófejnek kettős feladata a gyújtásvezérlés, és a gyújtáselosztás.

A két folyamatra tökéletes szinkronban kell lennie, ezt a közös tengely biztosítja.



211. ábra. A megszakító felépítése

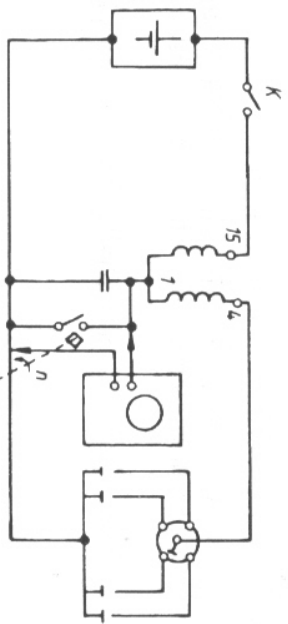
15.1.2. A gyújtórendszer vizsgálata

A gyújtási folyamatról a rendszer meghatározott pontjain mérhető jellemző jelek elemzésével kaphatjuk a legtöbb információt. Ezért a legfontosabb mérőeszköz a gyújtásvizsgáló oszcilloszkóp.

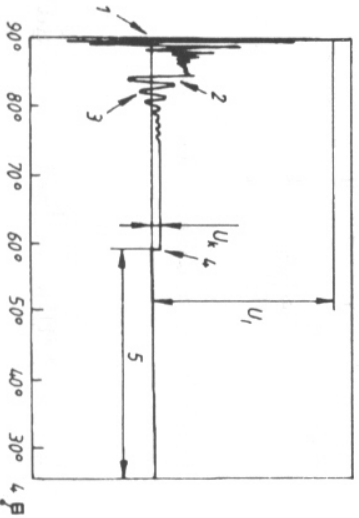
A vizsgálatok elvégzésére alkalmas oszcilloszkópos műszereket egyéb műszerekkel egybeépítve alakítják ki a teljes motordiagnosztikai vizsgálóberendezéseket. Ezekkel a készülékekkel mód nyílik az oszcilloszkópos gyújtásvizsgálat, a fordulatszám, az előgyújtási és zárássszög, a feszültség, valamint az árammérés elvégzésére.

Az oszcillogramok megjelenítésében több lehetőség is adódik. Mind a primer, mind a szekunder körben az egyes hengerek gyújtásképeinek egymás utáni (ún. sorozat), egymásra helyezett (ún. szuperponált) és egymás alá helyezett (ún. raszter) képe megjeleníthető. A diagnosztika, ill. a hibafeltárás során a tökéletes műszaki állapotot tükröző gyújtásképekhez hasonlíthatjuk a mért jelalakokat.

Sorozatkép méréséhez az oszcilloszkóp szinkronjelét az egyik henger (általában az első henger) gyertyakábeléről külső jeladóval biztosítjuk. Szuperponált és raszterképek esetében a műszereknek általában belső szinkronizációja van.



212. ábra. Kapcsolás a gyújtókör primer oldali jellemzőinek vizsgálatához

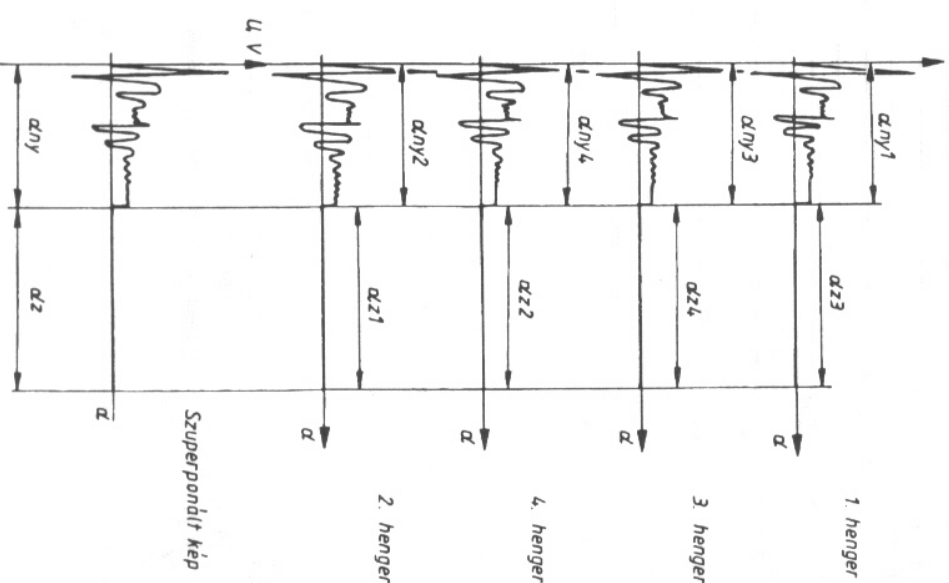


213. ábra. A primer oldali feszültség változása az idő függvényében

PRIMER GYÚJTÁSIÉL VIZSGÁLATA

A megszakítórintézők nyitásának kezdetétől a zárási szögteratomány végéig a primer feszültség változását vizsgáljuk. A mérésre a 212. ábrán látható kapcsolás alkalmas.

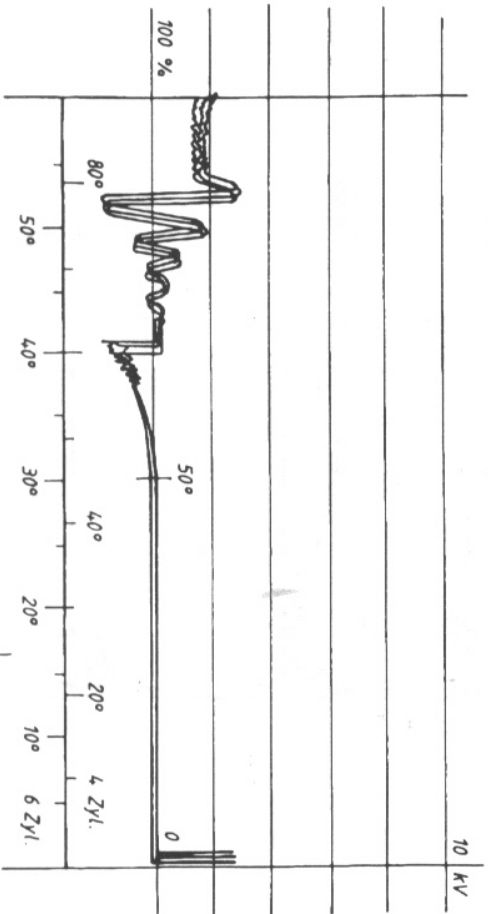
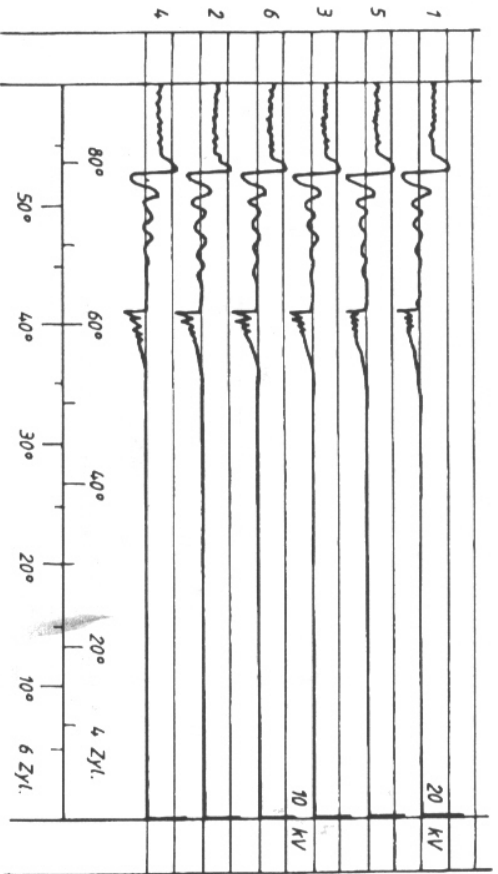
A hibátlan gyújtórendszer primer feszültségének változását mutatja az 213. ábra.



214. ábra. Raszter és szuperponált oszcillogramok

Az alaposzcillogram a megszakító nyitásával kezdődik (1-es pont). A megszakítás pillanatában keletkező önindukciós feszültség az U_1 . A 2-es pontban a gyújtógyertya ívének hirtelen megszűnése okoz feszültségváltozást. A csillapodó feszültség (3) az akkumulátor U_k feszültség szintjén állandósul. A

4-es pontban a megszakítóérintkezők zárnak, így a feszültség nullára csökken. A zárás teljes szakaszán (5) a feszültség értéke nulla, tehát a zárássszög könnyen meghatározható.



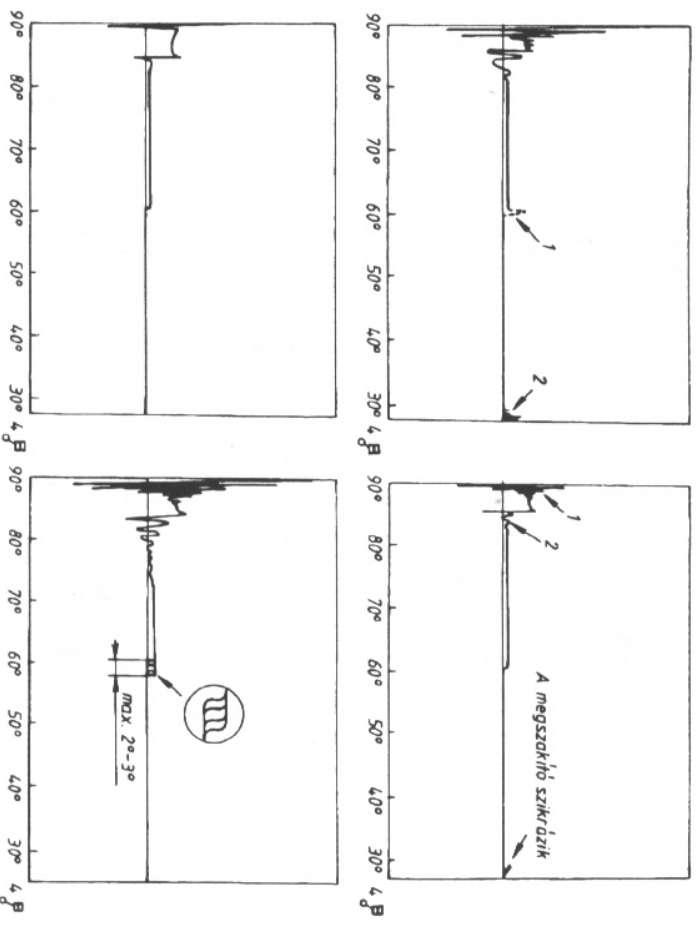
215. ábra. Raszter és szuperponált oszcillogramok hathengeres motor esetén

Figyelni kell arra, hogy az oszcilloszkóp ernyőjén látható kép a megszakító nyitásával kezdődik, így pl. négyhengeres motornál az első henger gyújtásimpulzusát a gyújtási sorrendnek megfelelően a harmadik henger zá-

rászüg tartománya követi. Megfigyelhető ez a 214. ábrán, ahol a raszterképet és a szuperponált képet tüntettük fel hibátlan gyújtás esetén.

Egy hathengeres motor gyújtásvizsgáló oszcilloszkópja képernyőjén megjelenő valóságos oszcillogramok a 215. ábrán láthatók.

A primer gyújtáskép torzulásából számos jellemző hibára lehet következtetni. Példaképpen nézzünk néhány oszcillogramot a 216. ábrán.



216. ábra. Primer gyújtáskép a) beégett megszakítók; b) hibás kondenzátor; c) a primer tekercs zárata; d) a hengerek közötti zárássszögek eltérése esetén

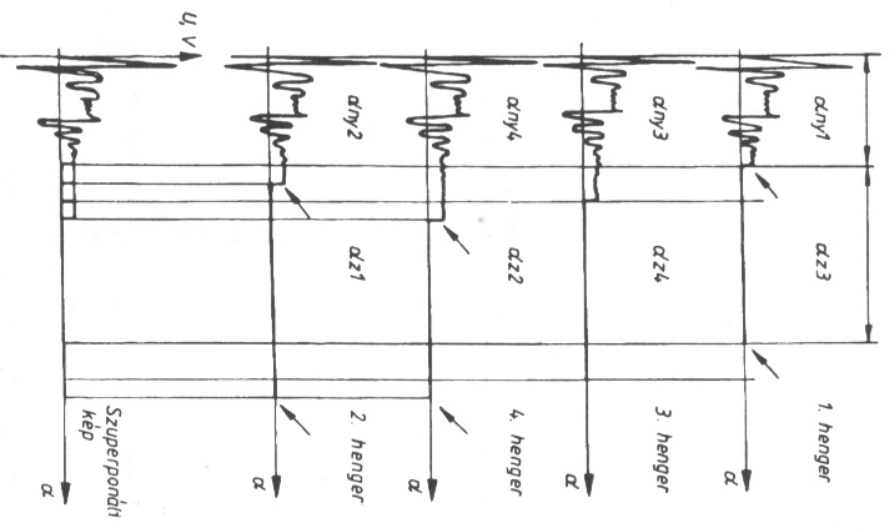
A 216a) ábrán beégett, szennyezett megszakítóérintkezőkre jellemző primer gyújtáskép látható.

A megszakítók gyors, idő előtti beégettését a kondenzátor hibája, vagy a gyújtótranszformátor primer tekercsének menetzárata okozhatja.

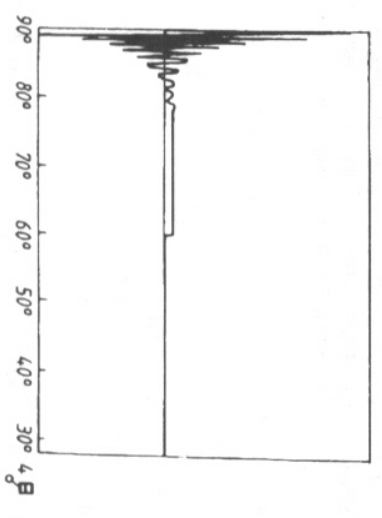
A beégett megszakítók egyenlőlen felülete határozatlanná teszi a primer áram megszakítását, és ezáltal növekszik az ívhúzás lehetősége (1 és 2 pontok).

A hibás kondenzátor gyújtásjeltorzító hatását a 216b) ábra mutatja. Jelalakváltozás az 1 és 2 pontoknál észlelhető.

Zárlatos primertekercs hatására példa a 216c) ábra.



217. ábra. Hengerek közötti előgyújtás; ill. zárászcöghiba értékelése



218. ábra. Primer gyújtásjel szakadt szekunder áramkör esetén

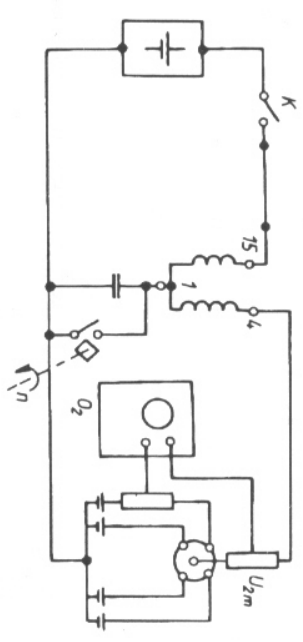
Az oszcilloszkópos vizsgálattal a zárászcög-, ill. a gyújtászcöghiba is diagnosztizálható. A hengerek közötti előgyújtás hibáját, ill. a zárászcöggek el-térését mutatja a 216d) ábra.

Az egyedi, hengerenkénti zárászcög, ill. előgyújtászcöghiba megkülönböztetése csak a raszterképek összehasonlításával lehetséges (217. ábra).

A primer kör működését a szekunder kör hibái is meghatározzák. Jellemzőes példa erre a szekunder kör szakadása, melyre jellemző oszcillogramot a 218. ábrán látjuk.

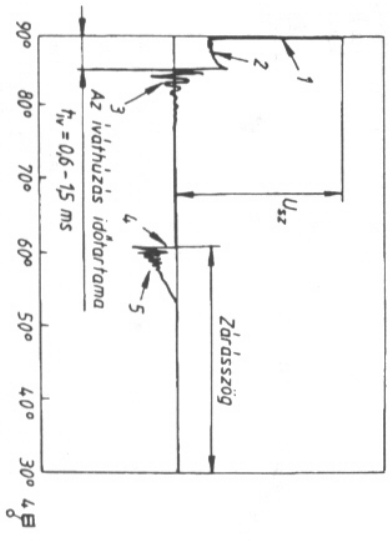
SZEKUNDEK GYÚJTÁSJELEL VIZSGÁLATA

A szekunder feszültség vizsgálatát a 219. ábra szerinti kapcsolásban végezzük.

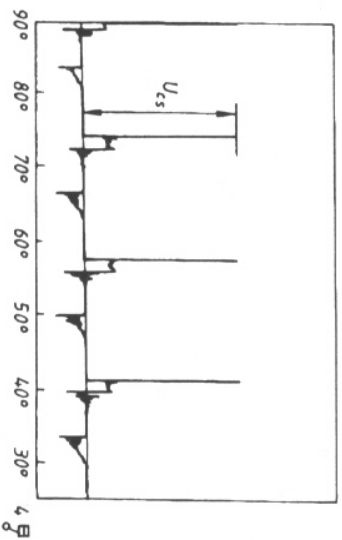


219. ábra. Kapcsolás a gyújtórendszer szekunder feszültségének vizsgálatához

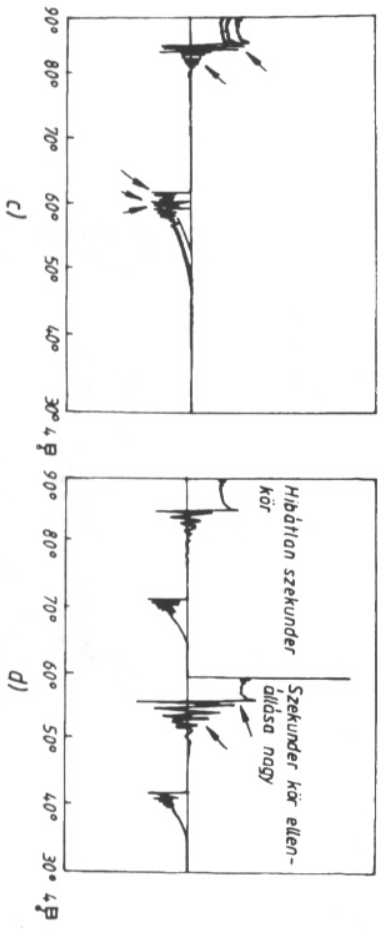
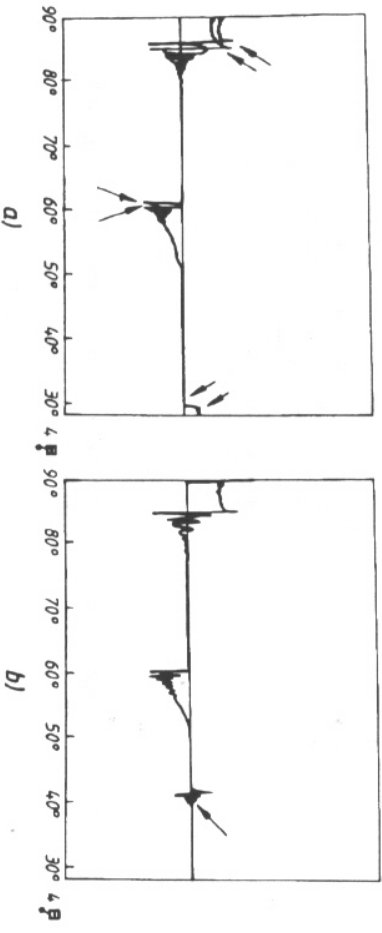
A hibátlan gyújtórendszer szekunder feszültségének változását mutatja a 220. ábra.



220. ábra. Hibátlan gyújtórendszer szekunder feszültségének változása

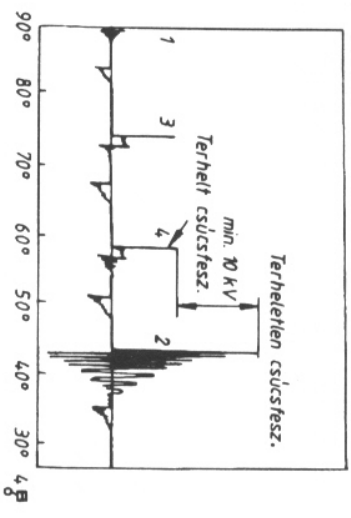


221. ábra. A szekunder csúcsfeszültség mérésére alkalmas sorozatkép

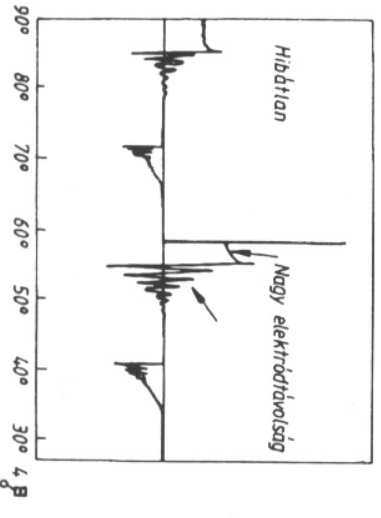


222. ábra. Szekunder gyűjtéskép a) beégett megszakítók, b) rossz csatlakozás vagy kontakthiba, c) az osztofejt meghajtásánál levő hiba, d) a szekunder kör összes ellenállásának megnövekedése esetén

A primer körben a megszakító nyitásakor keletkező önindukciós feszültség a szekunder tekercsben az áttételtől függően 15...20 kV-os feszültséget indukál. Az indukált feszültség az iv áthúzááig meredeken növekszik (1-es pont). Az áttetés után az ionizált térben az iv fenntartásához szükséges feszültség alacsonyabb (2). Az iv megszüntésekor a primer körben tapasztalható feszültségváltozás a szekunder oldalon is jelentkezik (3). A megszakító zárásakor a szekunder oldalon ismét feszültséglengetés jön létre, mely a megszakító zárt helyzetében megszűnik (4, 5).



223. ábra. Terheletlen szekunder csúcsfeszültség mérése



224. ábra. Nagy elektródtávolság hatása a szekunder gyűjtésképre

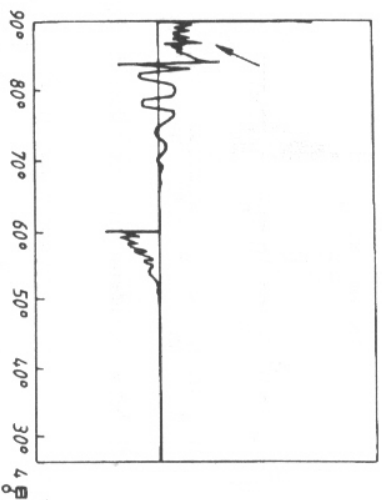
A szekunder kör csúcsfeszültség mérése a sorozatkép alapján lehetséges (221. ábra). A szekunder gyűjtéskép alapján is számos tipikus gyűjtéshibát határozhatunk meg. A primer oszcillogramon már megismert beégett, szennyezett megszakítók hatását látjuk a 222a) ábrán.

Ha a primer körben a testösszeköttetés rossz, vagy törött kábel van a körben, akkor minden henger gyújtásjelében a 222b) ábrán látható zavaró jelek figyelhetők meg.

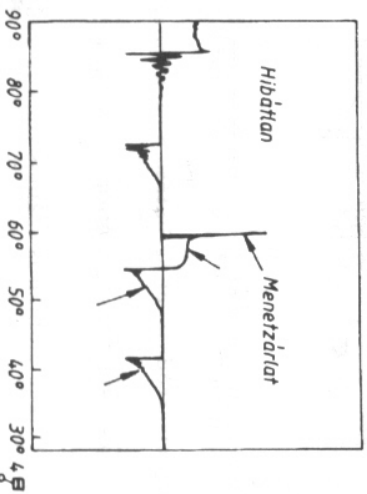
Az osztófej meghajtásánál levő zavarok is jól érzékelhető változásokat okoznak [222c) ábra].

A szekunder kör összes ellenállásának megnövekedése következtében létrejövő változást mutatja a 222d) ábra.

A terheletlen szekunder csúcsfeszültség vizsgálata módot ad a gyújtótranszformátor, ill. a szekunder tekercs állapotvizsgálatára. Ha valamelyik gyertyapipát szigetelt fogóval leemeljük, akkor a sorozatképpen mérhetjük a terheletlen szekunder csúcsfeszültséget (223. ábra).



225. ábra. Szennyezett elektródájú gyújtógyertya hatása a szekunder gyújtásjelre



226. ábra. Primer tekercs menetzárlatának hatása a szekunder gyújtásjelre

A gyújtási rendszerben gyakori hibaforrás a gyújtógyertya. A szekunder sorozatképpel a gyújtógyertyák is vizsgálhatók.

A szekunder csúcsfeszültség értéke jó gyújtógyertyák esetén 10...12 kV, a hengerek közötti eltérés 1...2 kV. A gyújtógyertya előírt értékénél nagyobb elektródahézagja a normálnál nagyobb szekunder csúcsfeszültséget eredményez, és torzulás tapasztalható az ív égésénél, valamint megszünnésénél (224. ábra).

Az előírt elektródátávolságnál kisebb hézagérték esetén értelemszerűen kisebb szekunder csúcsfeszültség mérhető.

Szennyezett elektródájú gyújtógyertyánál több helyi feszültségcsúcs jelenik meg az ív vonalán (225. ábra).

A gyújtótranszformátor primer tekercsének zárata a szekunder körben is mérhető (226. ábra).

15.2. A futóművek vizsgálata

A közúti gépjárművek sok évtizedes fejlődése során lépésről lépésre alakultak ki a futóművek jellegzetességei. A különböző terhelésekhez, útvisszonyokhoz és sebességekhez is a könnyű kormányozhatóság és a legkisebb görbülési ellenállás elérése a cél. Ez egyúttal menethibbiztonságot, stabilitást is jelent. A geometriai jellemzőket a tervezők határozzák meg, a gyártási pontatlanságok ezeket az ideális értékeket kismértékben módosítják. A jármű rendszeres használata, ill. a különböző mértékű sérülések, ütközések, futóműdeformációk következményeként előbb-utóbb meg nem engedhető változások jönnek létre. Ezek következménye a kerekek nem megfelelő görbülete, így a kormányzáshoz nagyobb erő kell, az egysegnyi úthosszúság megtételéhez nagyobb tüzelőanyag-mennyiség szükséges, és – ami a legfeltűnőbb – a gumiabroncsok egyenlőtlenül és gyorsan kopnak.

15.2.1. A futóművek geometriai jellemzői

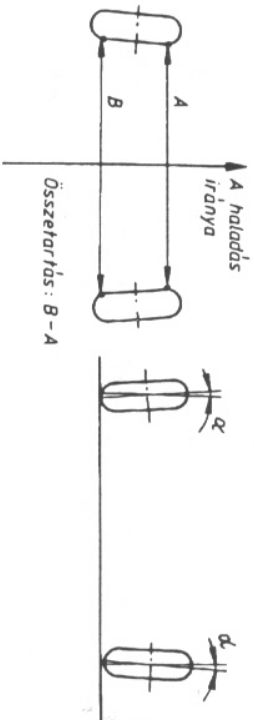
a) Kerekösszetartás

A első vagy a hátsó bal és jobb oldali kerekek forgástengelyeire merőleges síkok – azaz a keréksíkok – nem párhuzamosak. A kerekek igen csekély mértékben összetartanak. Ennek értéke a kerékpántok peremei között, a tengely mögött és előtt mérhető távolságok különbsége mm-ben [227a) ábra]. Értéke negatív is lehet, ami széjeltartást jelent.

b.) *Kerékdőlés*

A kerékdőlés a kerék síkjának a függőlegestől való ki- vagy befelé dőlését jelenti fokban [227b) ábra].

Kifelé dőlés esetén pozitív, befelé dőlés esetén negatív kerékdőlésről beszélünk. Jele α .



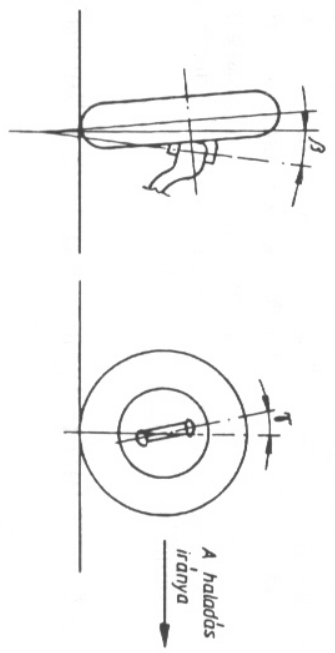
227. ábra. A futóművek geometriai jellemzői a) kerékösszetartás; b) kerékdőlés értelmezése

c) *Csapterpesztés*

A csapterpesztés a tengelycsonkcsap és a függőleges közötti szögeltérés a haladás irányára merőleges síkban [228a) ábra]. Jele: β .

d) *Csaphátradőlés vagy utánfutás*

A csaphátradőlés vagy utánfutás a tengelycsonkcsap és a függőleges közötti szögeltérés a haladás irányának síkjában [228b) ábra]. Jele: γ .



228. ábra. A futóművek geometriai jellemzői a) csapterpesztés értelmezése; b) csaphátradőlés vagy utánfutás

e) *Fordulásszög-eltérés*

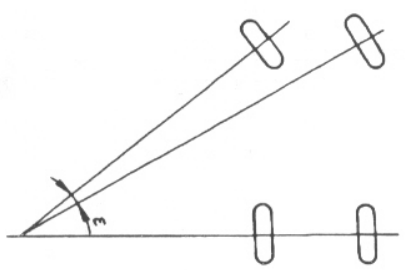
A közel tökéletes gördülés érdekében a kormányzott kerekek forgástengelyei kormányzáskor metszik egymást, tehát nem azonos szögértékekkel fordulnak el. A különbség a fordulásszög-eltérés, fokban (229. ábra). Jele: ϵ .

f) *Nyomkövetés*

A nyomkövetés a hátsó futómű jellemzője, az első és hátsó tengely párhuzamosságát bizonyítja, az első és hátsó kerekeknek a jármű hossz tengelyéhez viszonyított szimmetrikus nyomon való haladását jelenti.

A leírt jellemzők kísértékű geometriai méreteket, millimétereket, fokot, esetenként 10...20 szögperces értéket takarnak. Ebből következik, hogy az ellenőrzést csak pontos, hiteles berendezésekkel, és ezzel párosuló gondos, lelkiismeretes munkával lehet és kell elvégezni.

A gyártó cég az egyes értékeket a kezelési útmutatóban, gépkönyvben megadja, ez tehát az ellenőrzés és a beállítás alapja. A gépjármű terhelése befolyásolja a futómű és ezen keresztül a kerék geometriai helyzetét. Ezért a beállítási értékeket mindig a terhelés egyidejű feltüntetésével adják meg.



229. ábra. A fordulásszög-eltérés értelmezése

15.2.2. A futóművek geometriai jellemzőinek mérése

a) *Csúszólapos futómű-ellenőrzés*

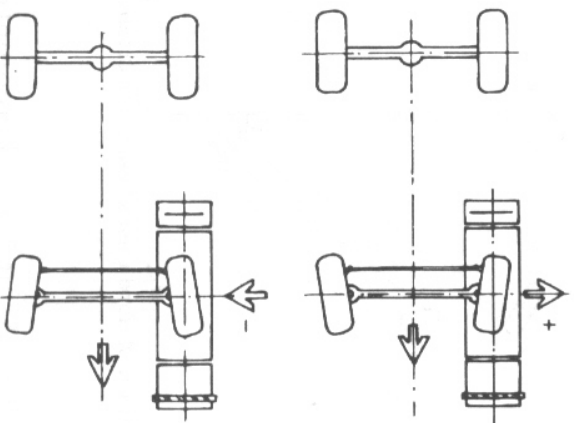
A futómű előzetes vizsgálatára a csúszólapos, ill. csúszógörögös futómű-ellenőrző készülékek alkalmasak.

Ezek azon a mérési elven alapulnak, hogy a kerekek gördüléskor a gépkocsi vázszerkezetét szétvágni, ill. összenyomni igyekeznek abból adódóan, hogy gördülési síkjuk nem párhuzamosak. A vázszerkezetben ébredő erő reakcióereje a gumibronc és az útfelület között hat, és a gumibroncot oldalirányba kényszeríti. Ha a gépkocsi egyik kerekét olyan lapon gördítjük, mely oldalirányba elmozdulni képes, akkor ezek a reakcióerők nem jönnek

létre, és a szilárd talajon gördülő másik kerék az „elmozdítható talajszakaszt” oldalirányba tolja. Például ha a kerékösszetartás pozitív, akkor kifele, ha negatív, akkor befelé mozdul el a mérőlap (230. ábra).

A mérés során tehát a gépkocsival a mérőlap hosszanti szimmetriavonala-n kell végighaladni, és mérni kell a csúszólap oldalirányú elmozdulását. A mérés eredménye az egységnyi útra eső oldalirányú kúszás m/km -ben.

Ezeket a berendezéseket beállításra nem ajánlják, mivel az egyes paraméterek egymásra hatását (pl. kerékdőlés és kerékösszetartás) nem lehet szétválasztani. A teljes vizsgálati idő velük csupán perceket vesz igénybe és biztos felvilágosítást kapunk arról, hogy pl. a kerékösszetartás és kerékdőlés a megadott értékhatáron belül van-e. Ha nem, akkor jóval hosszadalmasabb és munkaigényesebb részletes vizsgálatra és beállításra van szükség.



230. ábra. Elmozdulólapos futómű-ellenőrzés elve

b) *Futómű-ellenőrzés nagy pontosságú módszerrel*

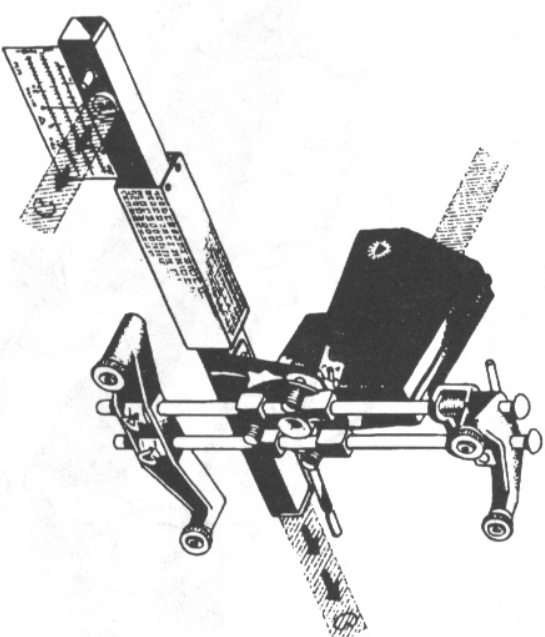
A korábban felsorolt hatféle geometriai jellemző vizsgálatára szinte kizárólag optikai elven működő készülékeket használnak. A kis távolságok és szögek mérésére az érzékenység növelése érdekében a legpontosabban működő tetető mutatót, a fénysugarat használják fel. Az optikai berendezés mellett ritkán mechanikus kerékállásmérőket is alkalmaznak.

Lényeges a gumibroncscok mérete és nyoma. Ezért a mérések megkezdése előtt ellenőrizni kell a kerekeket, és szükség szerint – a gyári előírások figyelembevételével – kell beállítani a gumibroncscok levegőnyomását.

Az optikai futómű-beállító készülékek a geometriai jellemzőket a gravitációs erőter függőleges és vízszintes síkja által kijelölt vonatkoztatási rendszerben határozzák meg. Így tehát a mérés alapvető feltétele, hogy a vizsgálat során a gépjármű a gravitációs tér irányához képest ismert helyzetben – célszerűen vízszintesen – álljon.

A mérőszerszemet egyik részét felfogószerkezettel rögzítjük a keréktárcsa pereméhez. Ez a mérőfej tartalmazza azt az optikai rendszert, mely lehetővé teszi a mérést. A rögzített mérőfej a kerék mozgatakor együtt mozog azzal, így a helyzetet jelző fénymutató a kicsi és nehezen érzékelhető méreteket könnyen mérhető távolságokká alakítja át.

A kitérés a műszer kialakításától függően többféle lehet. Egyik megoldásnál a távoli, célszerűen elhelyezett koordináta-rendszerre vetítjük a mérőfej fénymutatóját, és annak kitéréséből határozható meg a keresett jellemző. Kerékre szerelhető mérőfejet láthatunk a 231. ábrán.



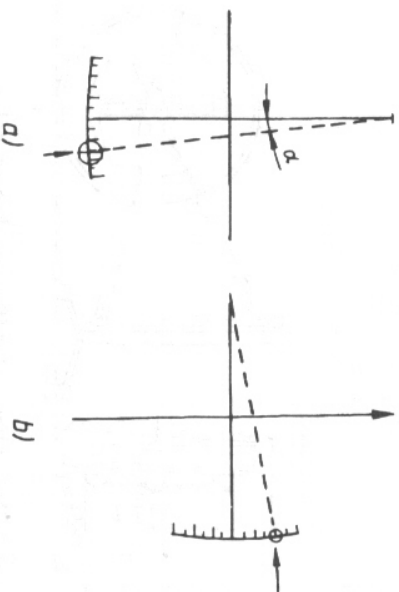
231. ábra. Futómű-ellenőrző készülék mérőfeje

Más készülék mérőegysége a fénymutató fénnyforrásán túl a viszonyítást lehetővé tevő tükrönggát és a leolvastást biztosító mérőernyőt is tartalmazza (232. ábra).

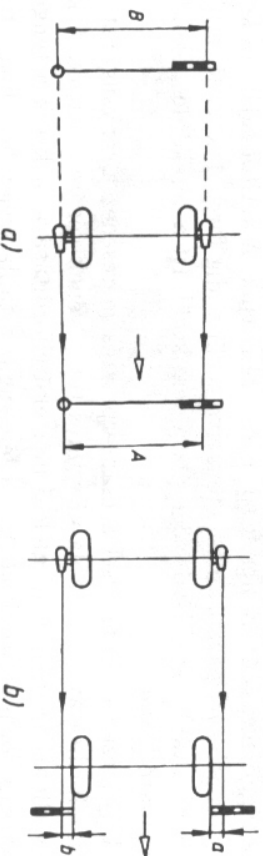
Az optikai ellenőrző berendezések típusainak és típusváltozatainak száma igen nagy. Ezekkel az egyes paraméterek mérése a készülék kialakításától függ. A következőkben néhány példát mutatunk be a megismert jellemzők mérésére.

A 233. ábrán a gépkocsira szerelt futómű-ellenőrző műszert látunk.

A fordulási szögelterés mérése a gyakorlatban összehasonlítható az előző két méréssel, ehhez azonban használni kell a kerék alá elhelyezett forgózámoly szögbeosztását. Fordítsuk a kormányt olyan helyzetbe, hogy a jobb kerék az alaphelyzettől 20° -ra balra forduljon. A bal oldali kerék alatti forgózámoly – 20° -nál nyilván nagyobb mértékű – elfordulását leolvassuk. A kettő különbsége az elfordulási szögelterés. Ugyanezt ismételjük a másik irányba való elfordítással. A bal, ill. jobb oldali szögelterésnek egyenlőnek kell lennie, a típusra megadott legnagyobb értéken belül.



236. ábra. Csapterpesztés és utánfutás mérése



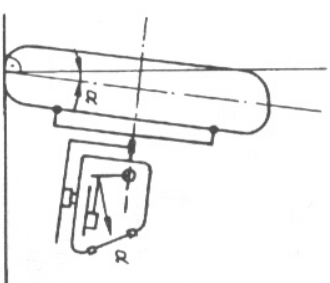
237. ábra. Geometria jellemzők vizsgálata a) kerékösszetartás mérése; b) nyomkövetés vizsgálata

Ezzel az elrendezéssel is mérhető kerékösszetartás. A függő táblákra nincs szükség, azonban távolságmérő rudakat kell előírt távolságban elhelyezni a haladási irányra merőlegesen, az első tengely elé, ill. mögé. A kormányzott kerék egyenes (alap-) helyzetben legyen. Az egyik oldali vetítő sugárát előre, majd hátra irányítva a rudakat nullázzuk. A másik oldali vetítőt elfordítjuk, és leolvassuk a megvilágított értéket. Ezután hátrafelé fordítva,

a tengely mögötti rúdon is leolvassuk a fénysugár által jelölt értéket [237a] ábra]. A kettő különbsége a kerékösszetartás értéke mm-ben.

A nyomkövetés vizsgálatakor a vetítőket a hátsó kerékre szereljük. Onnan haladási irányba vetítve a fénysugaraknak mind a jobb, mind a bal első kerék külső peremétől egyenlő távolságra kell elhaladniuk, amit távolságméréssel vizsgálunk [237b] ábra].

A kerékdőlés mérésének más módszerére példa a 238. ábra. A 232. ábrán látható mérőkészülék gondos elhelyezése és beállítása után a kerékdőlés értéke leolvasható.



238. ábra. Kerékdőlés mérése

15.3. A lengéscsillapítók vizsgálata

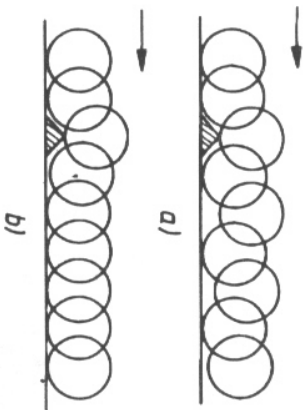
15.3.1. A lengéscsillapítás jelentősége

Közismert, hogy a járművek kerekei (futóművek) és a kocsiszekrény közé rugókat helyeznek. A jármű haladási sebességétől, a rugó és a rugózott tömeg jellemzőitől, valamint az út pillanatnyi állapotától függően előfordulhat, hogy a rugózott kerék az akadályról való legördülés után „pattogva” halad [239a] ábra]. A kerék tehát bizonyos időtartamig ütemesen a „levegőben” tartózkodik, nincs kapcsolata a talajjal.

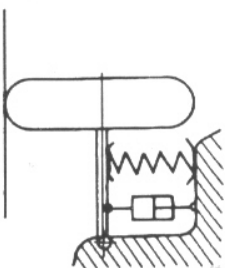
Ennek természetes következménye, hogy a kerék kormányzása vagy fékezése jórészt eredménytelen, tehát – a kellemtelen, zavaró hatáson túl – közlekedésbiztonsági szempontból is veszélyes.

A leírt jelenség kiküszöbölésére a rugóval „Dárhuzamosan kötve” csillapítószekrényt építenek a rugózott kerék és a kocsiszekrény közé (240. ábra).

A lengéscsillapító mindkét végén zárt cső, amiben dugattyú mozog. Az egyik csővégen furatot készítenek a dugattyút mozgató rúdnak, és a cső bel-sejét – a dugattyú mindkét oldalán – folyadékkal töltik. Tökéletes illesztés esetén a dugattyút nem tudjuk megmozdítani, mert a folyadék összenyom-hatatlan. A dugattyú viszont elmozdíthatóvá válik, ha rajta kisméretű nyílás van. Így a folyadék e furaton át az egyik térből a másikba áramolhat (241. ábra).



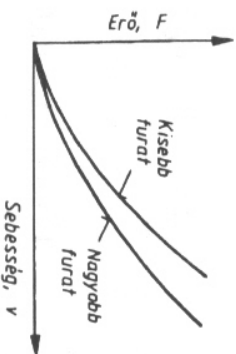
239. ábra. A rugózott kerekék viselkedése a) csillapítás nélküli; b) lengéscsillapító alkalmazása esetén



240. ábra. A lengéscsillapító beépítési helye



241. ábra. Lengéscsillapító működésének elve



242. ábra. A folyadékös lengéscsillapító jelleggörbéje

A dugattyú időegység alatt megtett elmozdulása – tehát v sebessége – állandó F erő esetén a folyadék viszkozitásától és a furat méretétől függ. Az erőváltozást a sebesség függvényében a 242. ábrán láthatjuk.

Tapasztalat szerint a jármű rugózására kedvező, ha berugózáskor – akardalryra való feljutás esetén – a csillapítóhatás csökkentett: adott erőhöz időegység alatt nagyobb elmozdulás tartozik. Ezt a hatást – a dugattyún készített – nagyobb átmérőjű furattal lehet elérni. E második furatot lefelé mozdulásakor visszacsapó szelep zárja.

A valóságos lengéscsillapítók a leírtnál valamivel bonyolultabbak (243. ábra). A lengéscsillapító zárt tereben levő gáz mint összenyomható közeg, kiegyenlíti a dugattyút mozgató rúd működéséből adódó folyadékkiszorítást.



243. ábra. Visszacsapó szelepes, kétsőves lengéscsillapító

A lengéscsillapítók jellemzésére előírt sebességhez tartozó erőhatást adnak meg mindkét elmozdulási irányban: pl. 160/15, 140/40 stb. A 140/40 jelű lengéscsillapítónak pl. előírt dugattyúsebességnél szét húzáskor 1400 N, összenyomáskor 400 N a csillapítóereje.

A lengéscsillapító kettős feladatot lát el:

- kis kerékmozgási sebességnél utasvédelmi, áruvédelmi érdekekből a karosszéria lengési amplitúdóját kell optimális értéken tartania;
- nagyobb kerékmozgási sebességnél, különösen a rugózatlan tömeg rezonanciafrekvenciájának környezetében a kerékre jutó erő ingadozását kell csökkentenie, a kerék és az út közötti tapadás minél jobb kihasználása érdekében.

A kerék és a talaj közötti erőkapcsolat közel állandó értéken tartásában a lengéscsillapító kulcsfontosságú, mert a gerjesztett kerék lengési amplitúdójának csökkentésével csökkenti az erőingadozást is.

A kerék „gerjesztése” az ütegyenletlenségektől, valamint a kerék kiegyensúlyozatlanságából származhat.

A kerék lengése során változik a gumibroncs görbdülséi sugara is. Állandó gépkocsisebesség esetén a lengés következtében lenyomódott gumibroncs nagyobb kerékfordulatszámot igényel, tehát a talaj a kereket a menetirányban hátrafelé „húzza”, azaz gyorsítja. A felfelé mozduló keréknél éppen ellenkező a folyamat, a talaj a kereket lassítani igyekszik. A szögsebességet csökkentő erőhatás pillanatnyi kerékmegcsúszást okoz, amelynek hatására a

gumiabroncs futófelülete sokszögletű alakra kopik. A megcsúszások pillanatokban a kerék és a talaj közötti erőkapcsolatot teljesen felemészti a szögsebességet lassító erőhatás. A jármű kormányzására, iránytartására nem marad megfelelő erőkapcsolat. Így a kerék a legkisebb oldalirányú erőhatásra is megváltoztatja mozgásirányát, kisorsodódik.

Láthatjuk tehát, hogy a lengéscsillapító vizsgálata elsősorban közlekedésbiztonsági célú. A csillapítóerőt vagy az azzal kapcsolatban álló jellemzőt kell diagnosztikai méréssel ellenőrizni a rugózott tömeg rezonanciafrekvenciáján.

A lengéscsillapító üzemszerűen dinamikus erőhatások között végzi feladatát. Minőségéről függően, hosszabb-rövidebb üzemidő után a csatlakozófuratok kiverődnek, olaj- és gáztöltése fogy. A csillapítóhatás csökkenése lassú folyamat, ezért a gépjármű vezetője is csak a későbbi hatásösszkenéskor veszi észre, amikor pl. a gumiköpenyek már szögletesre koptak. Az észszerű megelőzés érdekében tehát a lengéscsillapító időközönként felül kell vizsgálni, meg kell győződni a csillapítóhatás mértékéről.

15.3.2. A lengéscsillapítók vizsgálata

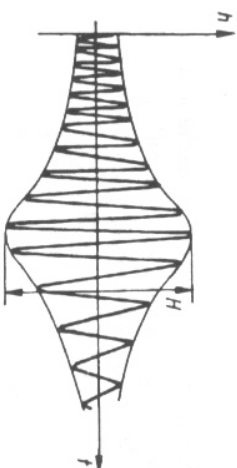
A vizsgálati módszerek és így a vizsgálóberendezések is két csoportba sorolhatók. Az egyik csoportba tartozók a gépkocsiból kiszertelt lengéscsillapítók vizsgálatára, a másik csoportba tartozók a lengéscsillapítók kiszertelés nélküli vizsgálatára alkalmasak. Az előbbi eljárást a lengéscsillapítókat gyártók, ill. javítók, míg az utóbbit a gépkocsikat közlekedésbiztonsági szempontból vizsgáló szakemberek alkalmazzák.

A felülvizsgálat legtökéletesebb módja az lenne, hogy minden lengéscsillapítónál – ismerve a hozzá tartozó $F = f(v)$ jelleggörbét (1. 242. ábrát) – néhány pontban ellenőriznénk az összetartozó sebesség-erő értékeket. Ehhez azonban ki kellene szerelni a lengéscsillapítót. A diagnosztikai gyakorlatban ez időigényes és költséges eljárás lenne.

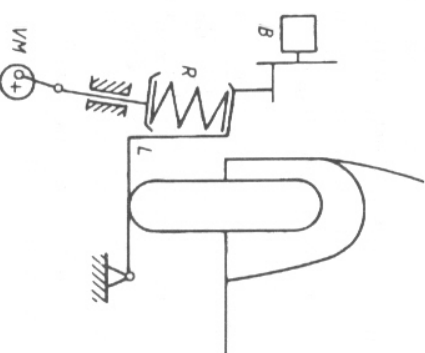
A gyakorlatban bevált vizsgálat elve egy sajátos törvényszerűség. Eszerint a keréket és csatlakozószerelevényeit (lengéscsillapítót, féldobot, lengőkarokat, féltengelyt) a kocsiszekrényhez képest rezgésbe hozzuk. Az erőhatás megszüntetése után a rendszer csökkenő frekvenciával közeledik a nyugalmi helyzethez. Ekközben a kitérések h mértéke – az amplitúdó – jellemző törvényszerűség szerint változik (244. ábra).

Bizonyítható, hogy a H legnagyobb kitérés mértéke a lengéscsillapító állapotának romlásával növekszik. E szerint működnek a legelterjedtebb lengéscsillapító-vizsgáló próbapadok (245. ábra).

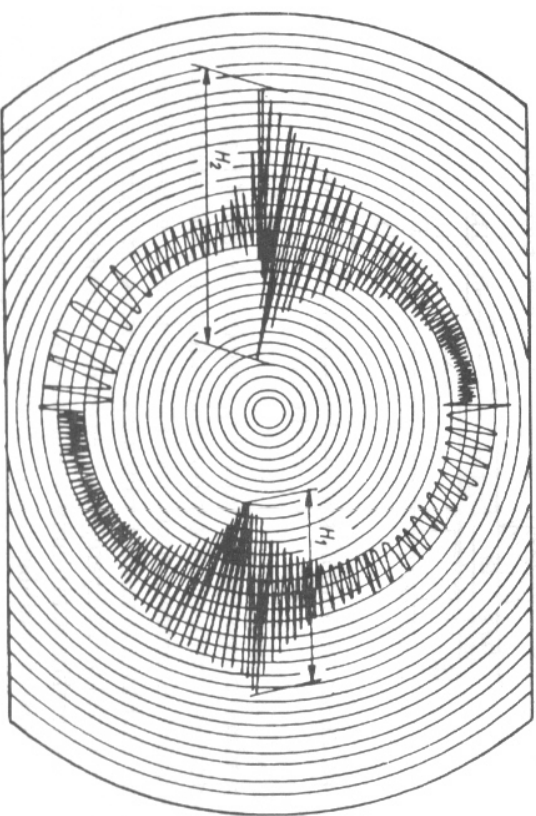
A VM jelű villamos motor tengelyén lendítőkerek és excentertárcsa van. A motor bekapcsolása után az R rugó közvetítésével az L rázólap a keréket és csatlakozó részét rezgésbe hozza. A motor kikapcsolása után a lendítőkerék energiáját jórészt a lengéscsillapító emészti fel. Csillapodás közben a B rajzóberendezés a 246. ábrán látható diagramot készíti.



244. ábra. A lengéscsillapítóval szerelt futómű kitérésének változása az idő függvényében, a gerjesztés kikapcsolása után



245. ábra. A lengéscsillapító vizsgálatának elve



246. ábra. Lengéscsillapító próbapadon készült kitérés-idő jelleggörbéje

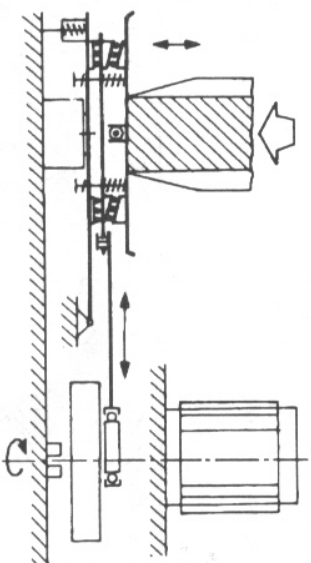
A 246. ábrán egy felkötött elfordulás tartozik egy méréshez. A regisztrálópapírt és a műszert úgy készítették, hogy egy regisztrátumra két lengéscsillapító – célszerűen az egyoldali első és hátsó – mérését lehessen rögzíteni. A mérés értékelésekor a maximális kitérés (H) értékét hasonlítjuk össze a gépkocsira megadott értékkel. Ha a mért kitérés nagyobb, mint a megadott határérték, akkor a lengéscsillapító műszaki állapota nem megfelelő.

E módszer alkalmazásakor azonban figyelemmel kell lenni arra, hogy az eredeti futómű helyetti – újabb rugó és mozgó tömegek beiktatása miatt – a rezonanciafrekvenciájában elhangolt lengőrendszer tulajdonságát mérjük.

Az eredeti lengőrendszert vizsgálja a dinamikus kerékterhelés-ingadozás mérés.

Az eljárás alapja, hogy a gépjármű lengőrendszeri sajátosságainak megváltoztatása nélkül, a valós közúti állapotokat utánozva a járműkerék talpfelületét állandó amplitúdóval gerjeszti és az önfrekvencián jelentkező talperő-ingadozást (kerékterhelés-ingadozást) az eredeti talperőhöz viszonyítva értékeli.

A műszer a keréklengetés közben fellépő keréktalperőt méri és az erőingadozást értékeli. A berendezés szerkezeti vázlatát a 247. ábrán mutatjuk be.



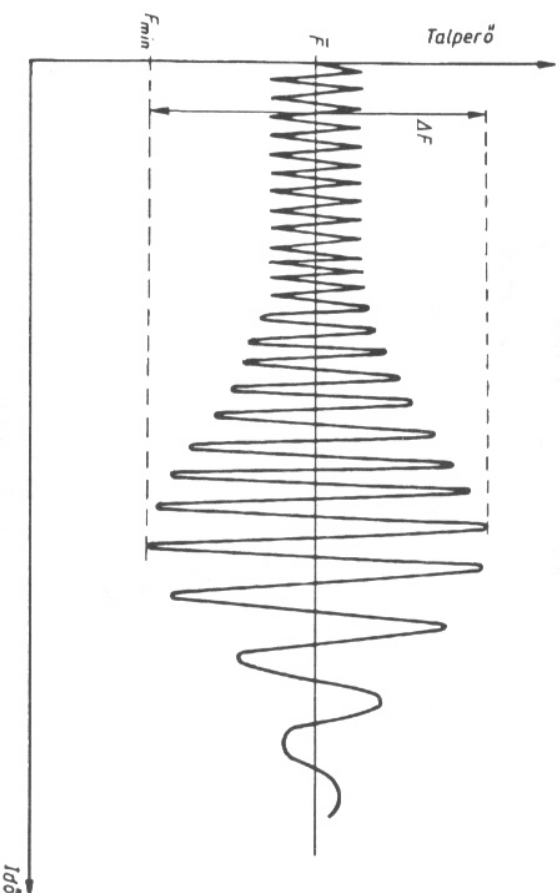
247. ábra. Dinamikus kerékterhelés-ingadozást mérő berendezés szerkezete

A mechanikus gerjesztőrendszer a vizsgálandó jármű futóművét a keréktalponton keresztül adott gerjesztéssel adott frekvenciatartományban lengeti. A hajtó villamos motor bekapcsolása után a gerjesztőlengés állandó értéket ér el. Ekkor a talperő változása szinuszos, átlagértéke a statikus terheléssel – a gépkocsi súlyerejével – egyenlő. A gerjesztés kikapcsolása után a lendkerék energiája a futóművet állandó amplitúdójú, de csökkenő frekvenciájú mozgattatással továbbgerjeszti. A gerjesztés így eléri a feltűggesztés önfrekvenciáját, ekkor a talperő ingadozása eléri szélső értékét (248. ábra).

A beépített erőmérőcella a talperővel arányos villamos jelet szolgáltat a jelfeldolgozószáshoz.

A mérés első szakaszában az erővel arányos jel átlagértékéből a statikus terhelés határozható meg. A második szakaszban a rezonanciafrekvencián mérhető maximális erőváltozást, vagy a kerék és a talaj közötti erő minimumát határozzuk meg. A kettő hányadosából megállapítható a lengéscsillapítás mértéke, azaz a lengéscsillapító állapotára következtethetünk.

A mérést a gumibroncsok levegőnyomása befolyásolja, ezért a mérés kezdetekor azokat ellenőrizni kell.



248. ábra. A kerék és a talaj közötti erő változása

15.4. A fékek vizsgálata

Fékezéskor a gépjármű mozgási energiája hőenergiává alakul nagyrészt az álló fékpofák és a forgó fékdobok (féktárcsák), kisebb részt a gumibroncs és az útfelület közötti súrlódás révén. A hatásos és biztonságos lassítás feltétele, hogy a fékpofáknál ébredő szükséges erő reális, a vezető által mindenkor előídezhető, viszonylag kis pedálerővel jöjjön létre, és hogy a bal, ill. jobb oldalon ébredő erők közel egyformák legyenek.

A fékek kifogástalan állapota és hatássága a biztonságos közlekedés egyik alapfeltétele, ezért a járművek fékjeit időszakonként (természetesen javítás után is) felül kell vizsgálni.

A felülvizsgálat korábbi egyetlen módszere a fékpróba volt. A leblokkolt kerekek által hagyott féknyomokból kétségtelenül lehet következtetni a

abroncsok és a lapok felülete közötti súrlódási tényezőre jellemzők, ez pedig félvezető.

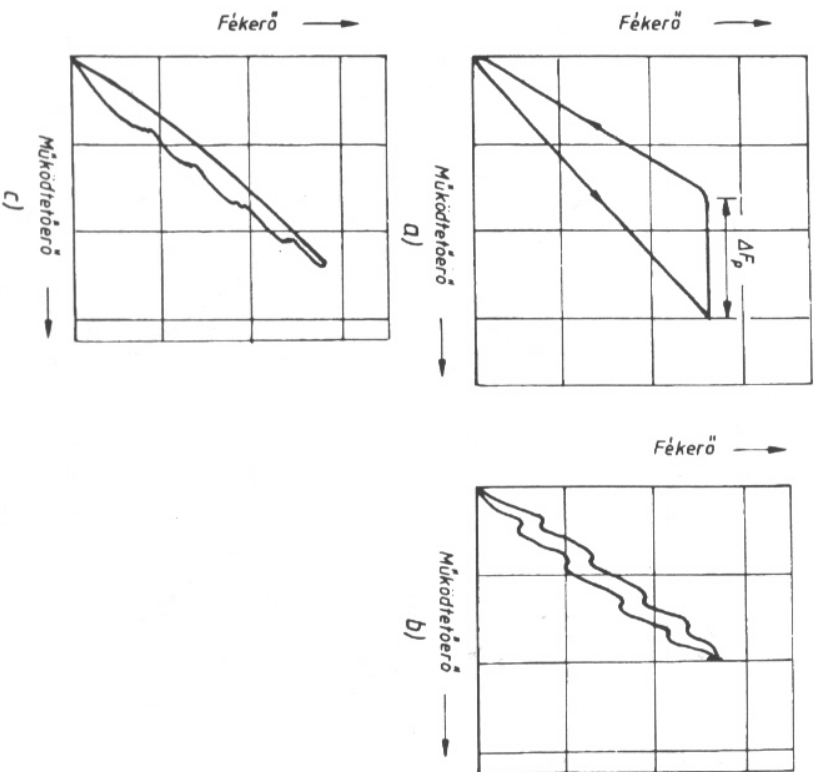
Napjainkban a legelterjedtebben használt – és talán a jövőre nézve is meghatározó – fékminősítési eljárás a görgős fékerőmérés.

A görgős fékerőmérés alkalmas a kerekenkénti pedálerő-fékerő összefüggés meghatározására (250. ábra).

A berendezéssel kialakításától függően a fékerők a fékezési idő függvényében vizsgálhatók.

A vizsgálópád görgőit villamos motor hajtja állandó fordulatszámmal.

A görgők csapágyait hordozó kar billenő csapágyazású, a hozzá kapcsolódó erőmérő a kerek fékezésekor keletkező ellennyomaték hatását érzékeli (251. ábra).



254. ábra. Fékerő jelleggörbék változása fékhibák hatására a) lassú oldású fék; b) fékerő-ingadozás; c) szennyezett fékbetétek torzult jelleggörbéje

A pedálerő-fékerő összefüggésének vizsgálatakor a fékpedálhoz is erőmérőt kell helyezni. Légfékes rendszerrel a pedálerőt a vezérelt levegőnyomás

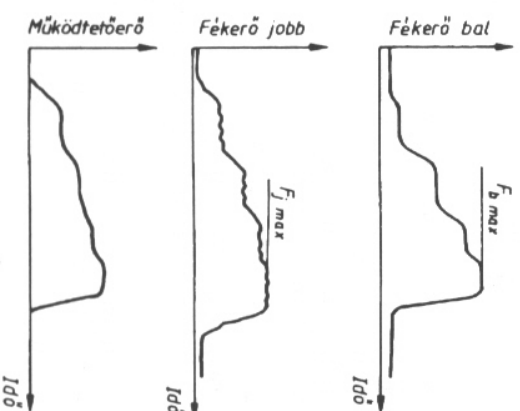
helyettesíti. A mérés eredményeként a kerekenkénti fékerőt és a pedálerőt olvashatjuk le kijelzőkről, valamint a pedálerő-fékerő diagramot kapjuk regisztrált formában.

A görgős fékerőmérő padokon a fékhatásosság mérése, ill. a fékrendszer minősítése csak a fékerő-határgörbe ismeretében lehetséges. Az alsó és felső határgörbe által meghatározott sávon belül jónak minősíthető a fékrendszer. Azon kívül eső mért értékek hibára utalnak, mert nem csak a túl kis fékerőérték, hanem a túl nagy is megengedhető.

A fékerőmérés regisztrátumának értékelése számos hibaforrásra enged következtetni. A 252. ábrán tökéletes műszaki állapotot tükröző regisztrátumot látunk. A görbének ettől eltérő menete jellegzetes hibákat határoz be.

A 253. ábra kezdeti szakaszának görbealakjaiból az alábbi megállapításokat tehetjük:

- 253a) ábra: a fékerő csak rendellenesen nagy működtetőerőnél kezd kialakulni,
- 253b) ábra: nulla értékű pedálerőnél indokolatlanul nagy fékezéserő tapasztalható,
- 253c) ábra: a pedálerő megszűnésekor a fékerő nem csökken az előírt mértékre (beragad a fék),
- 253d) ábra: a pedálerő növelésekor nem az előírt meredekséggel kezd változását a fékerő (eltömődött vagy megtört a fékcső).



255. ábra. Fék- és pedálerő időfüggvénye

A 252. ábráról leolvasható F_{max} értéke a bal és jobb oldali fékknél nem térhet el jobban egy előírt határértéknél.

A felfutó- és lefutóág közötti jelentős eltérés is hibára utal [254a) ábra]. A lefutóág rendelkezése a fék lassú oldására enged következtetni, melyet a fékpofák megszorulása vagy dobhoz tapadása okozhat.

Gyakori rendelkezesség a fékdob ovális alakjából, ill. a féktárcsa títéséből származó fékerő-ingadozás, mely a karakterisztikát hullámosra torzítja [254b) ábra].

A 254c) ábrán szennyezett (pl. elalajosodott) fékberétek következtében torzult jelleggörbét látnunk (bekapó, berágó fékezés).

Az idő függvényében felvett regisztrátumok is alkalmasak a fék hatósságának kiértékelésére. Ezek a mérések azonban a legtöbb esetben csak nehezképpen végezhetők el, ezért használatuk ritka. Példaként a 255. ábrán időfüggvény-sorozatot mutatunk be.

15.5. A kerék kiegyensúlyozása

15.5.1. A kiegyensúlyozatlanság fogalma, fajtái

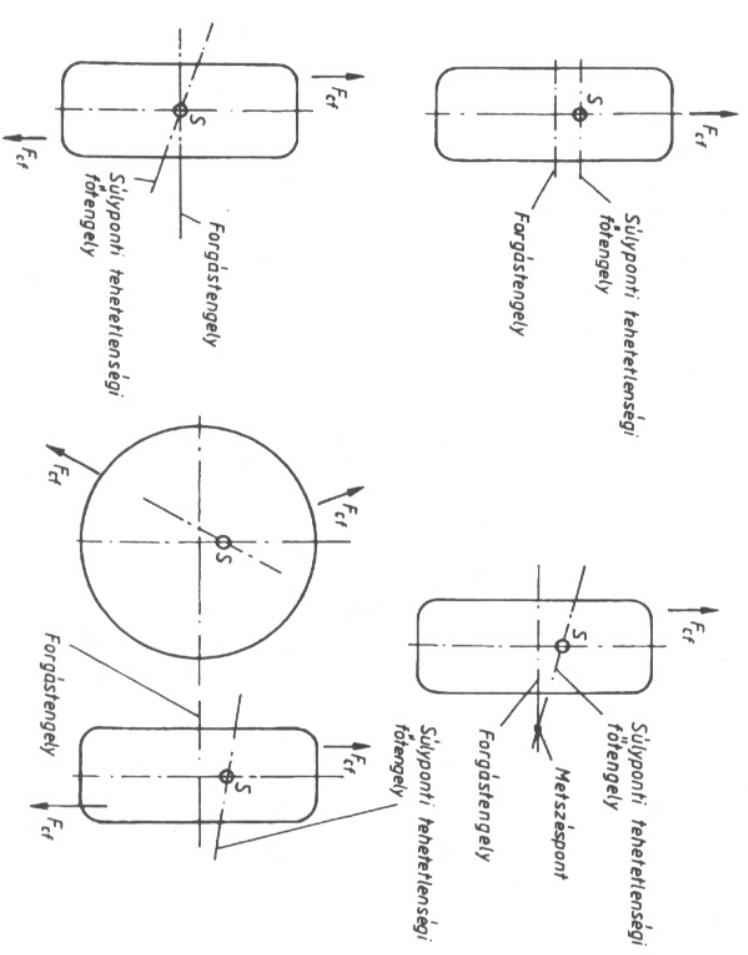
A közúti gépjárművek kerékpántjai és gumibroncsai a leg gondosabb gyártás esetén sem tökéletes tömegeloszlásúak, tömegközéppontjuk nem esik forgástengelyre.

Erről a legegyszerűbben – de természetesen nem kielégítő módon – úgy győződhetünk meg, hogy a szerelt kereket igen jól csapágyazott tengelyre helyeztük. Magára hagyva a kerék lassan elfordul, megáll, majd ellenkező irányba mozog. A folyamat egyre lassuló mozgással, néhány lengés után befejeződik, a kerék „nehezebb” része alul foglal helyet.

A gumik egyenlőtlen kopása, a kerékpánt sérülése, csekély deformációja, és minden tömlőragasztás kiegyensúlyozatlanságot okoz. A jelenség következménye, hogy gyors haladás esetén a nagy fordulatszámú kerék rázza a tengelyt, ezen keresztül a felfüggesztőrendszert, az egész kocsiszekrényt. A gumibroncs kopása egyre egyenlőtlenebb lesz, ami tovább fokozza a hatást. A gépkocsi úttartása és stabilitása nagymértékben romlik. Az első kerék kiegyensúlyozatlansága következtében a kormányzás nehezebbé és fárasztóbbá válik, a kormányrendszer által közvetített rázkódást a vezető karjai is átveszik. A rezgésekből származó zaj fárasztja a vezetőt és az utasokat.

A jelenség minden következménye káros, és egész egyszerűen kiküszöbölhető a hibás kerék kiegyensúlyozásával, ellentétegeknek a keréktárcsa megfelelő helyén való elhelyezésével.

A kerékiegyensúlyozás során célnak a kerék egyetlen tömegeloszlásának mérése, és egy vagy több ellensúly felhelyezésével annak megszüntetése. A kiegyensúlyozatlanságnak négy formáját különböztetjük meg. A statikus kiegyensúlyozatlanság azt jelenti, hogy a kerék súlyponti tehetetlenségi főtengelye és a forgástengely nem esik egybe, de párhuzamosak [256a) ábra]. Elvileg egyetlen ellensúly elhelyezésével megszüntethető, mert a centrifugális erők eredője ilyenkor egyetlen súlyponton átmenő, forgástengelyre merőleges erő.



256. ábra. Kerékiegyensúlyozatlanság fajtái

Kvázi statikus kiegyensúlyozatlansági állapotban a súlyponti tehetetlenségi főtengely és a forgástengely a súlyponton kívül metszik egymást [256b) ábra]. A centrifugális erők eredője egyetlen forgástengelyre merőleges erő, mely azonban nem megy át a súlyponton. A kiegyensúlyozatlanság elvileg most is egy súly elhelyezésével megszüntethető.

Nyomaték-kiegyensúlyozatlanságról akkor beszélünk, ha a kerék súlyponti tehetetlenségi főtengelye és a forgástengely a súlypontonban metszik egymást [256c) ábra]. A centrifugális erők eredője erőpár, amely ellentétes

értelmeű nyomatékot adó erőpárral kiküszöbölhető. Így a kiegyensúlyozáskor két azonos nagyságú, átloosan felhelyezett súlyra van szükség.

Dinamikus kiegyensúlyozatlansági állapot esetén a súlyponti tehetetlen-ségi főtengely és a forgástengely kitérők (nem párhuzamosak és nem met-szik egymást) [256d] ábrán]. A kiegyensúlyozatlanságot két különböző síkban fekvő, eltérő nagyságú erő hozza létre. Lényegében a statikus és nyomaték-kiegyensúlyozatlanság összegeként fogható fel, ezért minimálisan két ellen-súly felhelyezésével szüntethető meg.

A kiegyensúlyozatlanság mindig úgy mérhető, hogy a vizsgálandó ke-reket valamilyen lengésre képes rendszerhez erősítjük, és mozgásba hozzuk. A keletkező nyomatékok hatására a lengésbe jött rendszer valamely lengési jellemzőjéből (pl. amplitúdó, sebesség, csapágyerők) következtetünk a ger-jesztőhatás, azaz a kiegyensúlyozatlanság nagyságára és elhelyezkedésére. A rendszer lengéseinek amplitúdója összefügg a lengőrendszer önfrekvenciájá-val. Ha a gerjesztőfrekvencia pontosan megegyezik az önfrekvenciával, akkor a lengési amplitúdó veszélyesen megnövekedhet, mechanikai sérülés követ-kezhet be. Ezért legtöbb vizsgáló berendezéssel a kiegyensúlyozatlanságot az önfrekvenciánál nagyobb vagy kisebb frekvencián mérhetjük.

15.5.2. Kiegyensúlyozó eljárások

Két alapvetően eltérő kiegyensúlyozatlanságmérési – vagy más szóval ki-egyensúlyozó – eljárást különböztetünk meg. Az egyik a járműről leszerelt kerekek vizsgálatára alkalmas. Ez az ún. stabil kiegyensúlyozó gépekkel vé-gezhető el. A mobil berendezésekkel a járműre felszerelt állapotban lehetsé-ges a kerékkiegyensúlyozás.

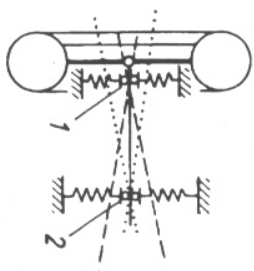
STABIL KIEGYENSÚLYOZÓ GÉPEK

A stabil kiegyensúlyozó berendezéseknek kétféle változata terjedt el.

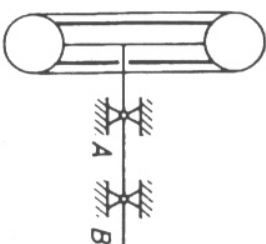
A lágycsapágyazású berendezések a vizsgálatot az önfrekvenciánál sokkal nagyobb frekvencián végzik. A vizsgálandó kereket olyan önbeálló csapágyas tengelyre rögzítjük, amelynél a csapágyházak rugalmasan vannak rögzítve. A kerék, a tengely és a rugók kis önfrekvenciájú, jelentéktelen csillapítású rendszert képeznek. A kiegyensúlyozatlanság meghatározása a tengely el-mozdulásának érzékelésén alapszik (257. ábra).

A kerék úgy van felfogatva, hogy a kerékpánt belső pereme éppen a külső csapágy síkba esik. Mérőkor első lépésben a külső csapágyhely (1) rögzített, miáltal az ebbe a síkba jutó kerékperemen levő kiegyensúlyozatlanság nem befolyásolja a lengőrendszer kitérését. Ekkor a külső kerékperemre sze-relendő súlyok helyzetét és nagyságát tudjuk meghatározni. Második lépésben

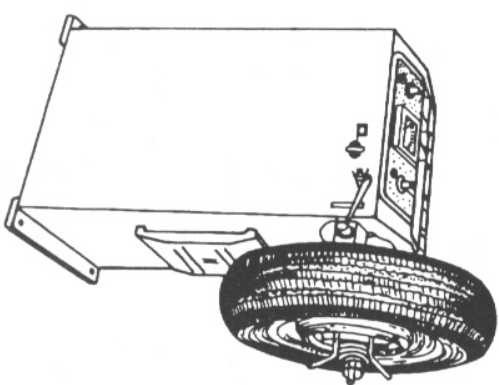
áthelyezzük a tengely rögzített pontját a másik (2) csapágyhelyre, így a len-gésamplitúdóból a másik peremre szerelendő ellensúlyok méretét és helyét határozhatjuk meg.



257. ábra. Lágycsapágyazású kerékkiegyensúlyozás elve



258. ábra. Merev-csapágyazású kiegyensúlyozó berendezés



259. ábra. Stabil kerékkiegyensúlyozó berendezés

A merev-csapágyazású berendezések az önfrekvenciánál lényegesen ki-sőbb frekvencián működnek. A mérés készülékeinek felépítése a 258. ábrán látható.

A merev-csapágyazású kiegyensúlyozó gépekkel a kiegyensúlyozatlanság-ból származó csapágyerő-változásokat mérjük. A körülfordulások során pe-riódikusan ismétlődő jelekből a kiegyensúlyozatlanság szöghelyzete és a fel-helyezendő ellensúlyok tömege együttesen határozható meg. E berendezések

az erőt piezoelektromos átalakítóval, a szögelfordulást impulzusszámlálással mérik.

A stabil kiegyensúlyozó berendezések előnye, hogy a mérés pontos, a lehető legkevesebb ellensúly felhasználásával végezhető a kiegyensúlyozás, és mindez a gépjárműtől független művelet. Hátránya, hogy a futómű járulékos kiegyensúlyozatlanságát nem veszi figyelembe, és a kerékszerelési munkák miatt gyors hibafeltárára nem alkalmas.

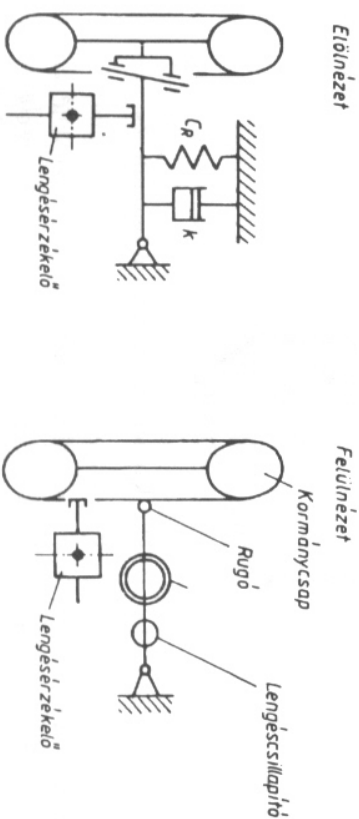
A 259. ábrán egy stabil kerékkiegyensúlyozó berendezés látható.

MOBIL KIEGYENSÚLYOZÓ GÉPEK

A kerekek járművön való kiegyensúlyozásának előnye, hogy elmarad a kerek le- és felszerelése, a mérés a futómű járulékos kiegyensúlyozatlanságát is figyelembe veszi, és gyorsabb. Hátránya, hogy az ellensúly helyét és nagyságát pontatlanul határozhatjuk meg, általában az indokoltnál több ellensúlyt használunk fel és a berendezés kezelése körülményes.

A mobil berendezések lengőrendszerét a kerék felfüggesztési rendszer alkotja. A lengőrendszer paraméterei (tömege, geometriai mérete, rugójellemzők, csillapítás) kötötték, és általában nehéz az önfrekvenciánál lényegesen nagyobb és lényegesen kisebb frekvenciájú mérést végezni. Ez indokolja, hogy a mérést az önfrekvencián végezzük.

A vizsgálendő kereket felgyorsítjuk annyira, hogy a gerjesztőfrekvencia nagyobb legyen, mint az önfrekvencia. Ezt követően a magára hagyott kerek lassulni kezd, s mozgása során eléri azt az pillanatot, mikor a két frekvencia megegyezik. A kiegyensúlyozatlanság mértékét a rezonanciahelyen mért amplitúdóból állapítjuk meg. A berendezés vázlata a 260. ábrán látható.

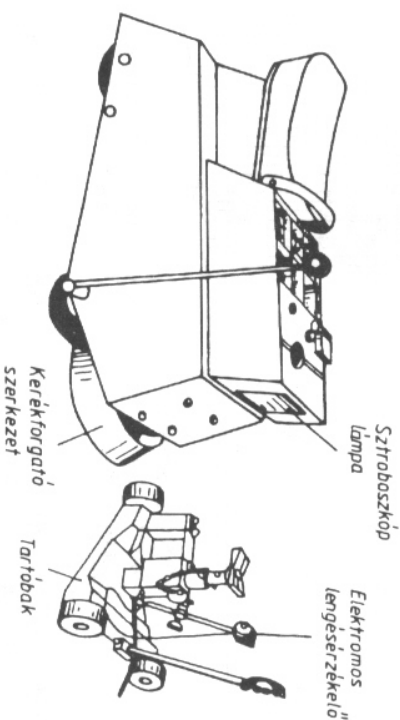


260. ábra. Mobil kiegyensúlyozó berendezés elve

A mérés pontosságát befolyásolja, hogy a lengőrendszer paraméterei az egyes kocsi típusoknál jelentősen eltérnek.

További nehézség, hogy nem elegendő csak a függőleges irányú lengési amplitúdók mérése, hanem a vízszintes lengéseket is mérni kell ahhoz, hogy a leggyakoribb dinamikus kiegyensúlyozatlanságot meghatározhassuk. Vízszintes elmozdulásra pedig csak a kormányzott kerek képes. Ezért ez az eljárás elsősorban csak a kormányzott első kerekek kiegyensúlyozására alkalmas.

A 261. ábrán egy mobil kerékkiegyensúlyozó berendezés látható.



261. ábra. Mobil kerékkiegyensúlyozó berendezés

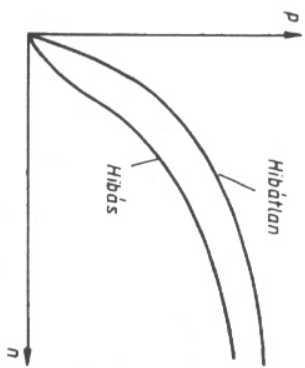
15.6. A belső égésű motor mechanikai állapota és a hengertömítettség vizsgálata

A belső égésű motor mechanikai állapotának változását (romlását) jórészt a munkaterék tömítettségének csökkenése okozza. Jellemző hibahelyek: a dugattyúgyűrűk, a hengervejtőtömítés és a szelepek. A tömítettség csökkenése következtében lassan, de határozottan növekszik az olaj- és tüzelőanyag-fogyasztás, csökken a teljesítmény. Természetes elhasználódás, kopás jellemző a motor egészére, minden mozgó, forgó alkatrésze. Eltérő anyagminőség, hibás beállítás következtében egy-egy henger tömítettségé általában eltér a többitől. A hengerenkénti vizsgálatok összehasonlíthatók, az egyes hengerek tömítetlenségi „sorrendjének” meghatározására.

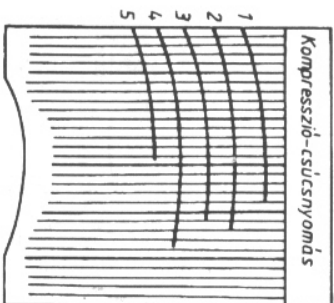
15.6.1. A sűrítési végnyomás mérése

A tömítetlenség elsősorban kis fordulatszámok esetén kedvezőtlen. Ilyenkor egy-egy – pl. sűrítési – periódus viszonylag hosszú ideig tart, tehát több lesz a veszteség. Az összefüggést a 262. ábra szemlélteti, amelyen megfélelő és hibás

tömítettségű henger p sűrítési végnyomását tüntettük fel az n fordulatszám függvényében.



262. ábra. A sűrítési végnyomás jó és hibás hengerben, a fordulatszám függvényében



263. ábra. Sűrítési végnyomás regisztrátuma

A csúcsonyomás mérése bevált, célszerű és gyors módszer. Alkalmazásakor körültekintően kell eljárni, mert a csúcsonyomás számszerű értéke a fordulatszám kivül a motor hőmérsékletétől, a fojtószelep állásától, a többi henger tömítettségétől és – csekély mértékben – a vizsgálóműszer jellemzőitől is függ. A 263. ábrán egy végnyomás-regisztrátumot mutatunk be. Ugyanazon a motoron és hengeren mérünk, de különböző módokon.

A mérés beállításai a következők:

- csak egy gyertya kicsavarva, alapjáratú fojtószeleppállítás;
- csak egy gyertya kicsavarva, teljes fojtószelepnýtítás;
- minden gyertya kicsavarva, alapjáratú fojtószeleppállítás;
- minden gyertya kicsavarva, teljes fojtószelepnýtítás;
- minden gyertya kicsavarva, alapjáratú fojtószeleppállítás, indítómotor egészen rövid ideig működtetve.

A legjelentősebb a fordulatszám hatása. A vizsgálatakor ugyanis a motor forgatvány tengelyét az indítómotorral forgatjuk. (Hibás vagy kimerült akkumulátor esetén képtelenség minden henger vizsgálatánál az egyforma fordulatszám elérése, ekkor tehát nincs lehetőség az összehasonlításra, így a mérésnek sincs értelme.)

A nyomásmérő célműszerek befolyásoló hatását az határozza meg, hogy a mérés során a mérőtér térfogat milyen mértékben változtatja meg a kompresszióter térfogatát. A régebbi, igényes készülékeken a mérőtér térfogata igen kicsi, és a csatlakozó csővezetékben visszacsapó szelep van, amely megakadályozza a kompresszióter növelését. Az újabb nyomásátalakítókkal térfogatváltozás nélküli mérés lehetséges.

A mérőműszerek lehetnek mutatós kivitelűek, amelyeket esetenként a legnagyobb kitérést jelző második mutatóval is felszerelnek. Esetleg a készüléknek rajzolószervezete van, amivel a vizsgálat eredménye rögzíthető. Találunk számjegyes kijelzésű műszereket is.

Valamennyi sűrítési csúcsonyomás méréskor az érzékelőt, ill. a műszert a gyertyanyíláshoz kell illeszteni, és az indítómotorral néhány másodpercig forgatni kell a forgatvány tengelyt.

A mérés igényes értékeléséhez nem elegendő a hengerek közötti eltérések összehasonlítása, ismernünk kell a sűrítési csúcsonyomásnak az adott motortípusra megadott hiteles értékét, amihet saját mérési eredményeinket hasonlítjuk.

15.6.2. A nyomásvesztesség mérése

A tömítelenséget a dugattyúk sűrítőképességétől függetlenül, külső, nagynyomású levegőhálózatról is vizsgálhatjuk. A vizsgálat közben a motor áll, forgatvány tengelyét megfelelő helyzetben rögzíteni kell, hogy a vizsgált henger sűrítési ütemben legyen. A levegőt nyomásszabályozón keresztül, hajlékony csövön vezetjük a gyújtó- vagy iztítógyertya nyílásán át a vizsgált hengerbe. Ha a henger tömítettsége tökéletes lenne, akkor az oda bevitt levegő nyomása változatlan maradna. A kisebb-nagyobb mértékű részvesztések következtében a hengerben csökken a nyomás. Ennek mértékét az általában %-osztású nyomásmérő műszeren közvetlenül le lehet olvasni.

A tömítelenség helye az orvosi gyakorlatból ismert hallgatókészülékkel, a fonendoszkóppal kereshető.

15.6.3. A hengerek teljesítménykülönbségének vizsgálata

Többhengeres motor logikus követelménye, hogy minden henger egyforma mértékben „dolgozzon”. Az ellenőrzés során tehát arra a kérdésre kívánunk választ kapni, hogy az összes meghatározó mennyiség eredményeként a hengerek egyformán üzemelnek-e.

Az ellenőrzés legegyszerűbb módszere szerint a motort alapjáratban, állandó fordulatszámmon járattuk. Stabíl egyensúly esetén a motor felvett teljesítménye a sűrűdásra fordított teljesítménnyel egyenlő. Ha egy tetszőleges henger hatásos működését – pl. a gyertyapipa leemeléssel – megszüntetjük, a hiányzó teljesítmény következtében az egyensúly kisebb fordulatszámra áll be. A hengerek gyújtásának egymás utáni kikapcsolásakor feljegyezhetők a

fordulatszámesések, így a hengerek közötti teljesítménykülönbségek rangsorolhatók.

A vizsgálatot a leggyeszerűbb esetben a gyertyapipa leemelésével végezhetjük el. A hengerteljesítmény-különbség mérői a megszakító sarkairól kapott impulzusokat érzékelve jelzik a motor fordulatszámát. Az első henger gyújtásának időpontját a szekunder vezetőre (gyertyakábelre) helyezett induktív szonda érzékeli. A régebbi típusoknál az egyes hengerek gyújtását (kioltását) a hengerválasztó kapcsoló megfelelő állásba fordításával kell megszüntetni. Az új berendezések ezt a vizsgálatot beavatkozás nélkül végzik: az egyes hengerek a gyújtási sorrendnek megfelelően, automatikusan kioltódnak. A fordulatszám-csökkenést – általában 5%-os értékben – mechanikus vagy fénymutató skálán, ill. elektronikus kijelzőn olvashatjuk le.

15.6.4. A szívócső-depresszió mérése

Hagyományos felépítésű, benzinnüzemű belső égésű motor szívóütemében az adott henger szivattyúként működik.

Mivel tökéletesebben működik e szivattyú, annál tökéletesebb a henger tüzelőanyag-levegő keverékkel való feltöltése. A feltöltés a depresszió mértékétől függ, ezt pedig a motor sűrítési viszonya, a fordulatszám, valamint a mechanikai és szerkezeti tulajdonságok határozzák meg. Közülük néhány jellemző (pl. a szelepek és dugattyúgyűrűk záróképessége) a motor állapotára utal, tehát meghatározott feltételekkel végzett depresszióméréssel következtethetünk az általános motorállapotról.

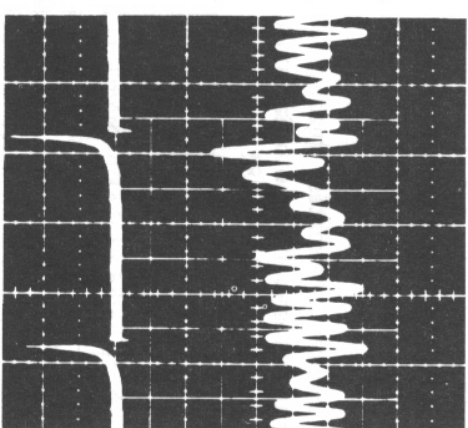
A szívócső-depresszió mérése terhelt motorral, görgős járműfékpadon vagy a jármű türesjárataiban (alapjáraton) végezhető el.

A lehető legrövidebb csővel összekötjük a műszert a szívócső vagy a porlasztó e célra készített csatlakozófuratával. A porlasztó alapjárataát szabályozó csavart úgy állítjuk, hogy az ütközés megszűnjön.

Ezután a fojtószelep teljes nyitásával felpörgetjük az alapjáraton működő motort. A legnagyobb fordulatszám elérése után a fojtószelepet hirtelen teljesen zárjuk, majd a műszert figyelve leolvassuk és fejegyezzük a kialakuló depresszió csúcértékét.

A depressziómérés eredménye az oszcilloszkóp képernyőjén is megjeleníthető. A 264. ábrán a szívócső-depresszió változását látjuk a főtengely elfordulásának függvényében.

A módszer gyors és értékelhető alkalmazásához ismernünk kell az adott gépjárműmotorra gyárilag megadott határdepresszió értékét, és ehhez hasonlítani a mérési eredményünket.



264. ábra. Szívócső-depresszió változása a főtengely elfordulásának függvényében

15.7. A benzinüzemű motor kipufogógázának vizsgálata

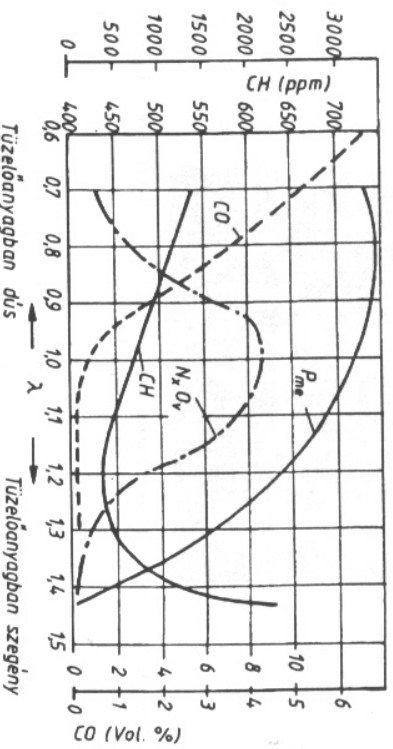
A benzinüzemű belső égésű motor keverékképző rendszerének feladata, hogy különböző hőmérsékleteknél, fordulatszámoknál és teljesítményeknél alapjáraton és gyorsításkor megfelelő arányú tüzelőanyag-levegő keveréket juttasson a motor égésterébe. A sokrétű követelményből adódóan a korszerűt jelölő lasztók meglehetősen összetett szerkezetek, ezért beállításuk és ellenőrzésük nehéz, igényes feladat. Ezt a munkát könnyíti meg az a felismerés, hogy a kipufogógáz összetételéből következtetni lehet a keverékképző rendszer állapotára, ill. helyes vagy helytelen beállítottságára. Győződjünk meg erről a 265. ábra megtekintésével, amelyen a szénhidrogén- és szénmonoxid-koncentráció változása látható a kipufogógázban, a tüzelőanyag-levegő keverési arány változásának hatására.

A benzin-levegő keverék elégségeskor – az alkotók arányától függően – különböző mértékben keletkeznek nitrogén-oxidok (N_xO_x), szénhidrogének (C_nH_m), szén-monoxid (CO), szén-dioxid (CO_2) és vízgőz. Az összetevők közül a szén-monoxid, a szénhidrogének, valamint a nitrogén-oxidok mérgezők. A legnagyobb jelentősége a szén-monoxidnak van, ugyanis:

- közismerten mérgező gáz, ezért az egészség, a környezet védelmére részarányát a lehető és elérhető legkisebb értékre kell visszasszorítani;
- az egészségügyi térfogatú kipufogógázban jelenlévő szén-monoxid közel arányos a tüzelőanyag-fogyasztással;

– a korábbi gyakorlatban használatos kipufogógáz-elemzők (amelyek csak CO-tartalom vizsgálatára képesek) felhasználásával elfogadható, az általános technikai színvonalnak és a környezetvédelmi előírásoknak megfelelő beállítás volt elérhető.

A szén-monoxid-tartalom csökkentése (bizonyos határokon belül) tehát tüzelőanyag-megtakarítást – azaz jobb motorhatásfokot – is jelent.



265. ábra. A szénhidrogén és szén-monoxid koncentrációjának változása a kipufogógázban, a tüzelőanyag-levegő keverési arány változásának függvényében

Bizonyítható, és a tapasztalatok is azt mutatják: ha a motor kipufogógázában a szén-monoxid-tartalom különböző terhelések esetén a megengedett határnál némileg kisebb értékű ($\lambda = \text{max. } 1,1$), akkor a többi gázkomponens részaránya is megfelel a jelenlegi előírásoknak. Ennek következtében a diagnosztikai gyakorlatban a gázelemzés a szén-monoxid-tartalom százalékos meghatározása. A korszerű, elektronikus kipufogógáz-elemzők az egyéb összetevők mennyiségét is mérik.

A szén-monoxid-tartalom (CO-tartalom) időszakos ellenőrzése hatósági feladat. Elegenden eredmény esetén a jármű forgalmi engedélyét bevonják. Ebből követhet, hogy a gázösszetélt megbízható készülékkel, a lehető leggyorsabban kell elemezni.

A kipufogógáz hővezető képességének mérésén alapuló, ill. utóégetéssel működő készülékek nem kellően pontosak és megbízhatók. Elegendően pontosnak és hitelesnek az infra gázelemzőket (NDIR) és a lángionizációs szénhidrogén-gázelemzőket (FID) tekintjük. Ezek a készülékek gondos és lelkiismeretes használat esetén a külső hatásokra csak csekély mértékben érzékenyek, és a kipufogógáz nem vizsgált, egyéb komponensei a vizsgált gázérzékelést nem módosítják.

15.7.1. Infra gázelemzők

A kipufogógázok szén-monoxid-koncentrációjának meghatározására az infravörös sugárzás abszorpciója alapján működő műszereket használják. A működés alapja az a jelenség, hogy a különböző molekulákból felépülő gázok az infravörös sugárzás energiáját anyagfajtajuknak megfelelően elnyelik. E műszer elvi tömbvázlatát már a 188. ábrán láthattuk.

A műszerben a villamos fűtési izzószálak kerámialapot melegítenek, mely így infravörös sugárzóvá válik. A sugárzást a forgó kerék periodikusan megszegegtatja. Az így modulált sugárzás fele egy összehasonlító gázon (nitrogénen), míg másik fele a mérendő gázon halad át. A nitrogén az infravörös sugárzás energiáját nem nyeli el, ezért az itt haladó sugár gyengítetlenül ér az érzékelőhöz. A másik nyaláb energiáját a kipufogógáz CO-molekulái koncentrációjuknak megfelelően csökkentik, így az kisebb energiatartalommal éri el az érzékelőt. Az érzékelő az energiakülönbséggel arányos villamos jelet szolgáltat, melyet mutató vagy számszerűs kijelzőn jelenítenek meg.

15.7.2. Lángionizációs gázelemzők

A szénhidrogén-tartalom mérésének gyors, pontos, megbízható módszere a lángionizációs eljárás (FID). Működési elve a következő. Egy fémfűvőkből hidrogén áramlik ki és a fűvőka végénél kis lánggal elég. A láng villamos térben van. A tiszta hidrogénlángban nincsenek ionok, ha azonban pl. a kipufogógáz szénhidrogén-tartalma ég el a lángban, akkor azok egy része ionizálódik. A fegyverzetek között ionizációs áram indul meg, melyet megfelelő villamos műszerrel mérhetünk. Az áram nagysága az ionszámtól, az pedig a lángba vezetett szénhidrogén mennyiségétől függ.

A méréshez szükséges hidrogént a műszer elektrolízis útján állítja elő.

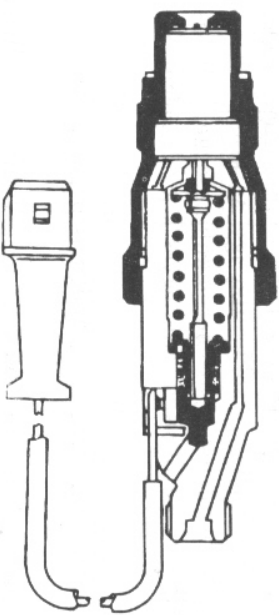
15.8. A dizelmotorok vizsgálata

15.8.1. Az előbefecskendezési szög ellenőrzése

A benzinnüzemű belső égésű motorok előgyújtásához hasonlóan dizelmotorok esetében előbefecskendezésről beszélünk. Előbefecskendezési szögön a motor forgattyús tengelyének fokokban mért elfordulását értjük, az adott henger-nél, a befecskendezés kezdetétől a dugattyú felső holtpontig való jutásáig. Ha a felső holtpont előtt túl korán (nagy előbefecskendezési szög) vagy túl

későn (kis előbefecskendezési szög) kezdődik a tüzelőanyag befecskendezése, akkor az égés tökéletlen, romlik a motor hatásfoka, növekszik a fogyasztás és a káros szén-monoxid-kibocsátás, valamint a füstölés. Megjegyzendő, hogy a dízelmotorok állandó legfeljellelleggel dolgozó belső égésű motorok, és jellemzőjük az igen alacsony CO-érték (az Otto-motorok 0,2... 6 térf.%-os CO-kibocsátásával szemben csak 0,02... 0,12 térf.%).

A motor forgattyús tengelyének lassú elforgatásán, ill. különféle módszerekkel és segédeszközökkel végzett megfigyelésen alapuló ellenőrzések (statikus mérések) korszerűtlenek, lassúak és pontatlanok. Diagnosztikai célra csak a motor működése közben (dinamikusan) vizsgáló villanócsöves berendezéseket, ill. az oszcilloszkópos vizsgálatot tartjuk alkalmasnak.



266. ábra. Dízel-fűvókába épített nyomáskezelő-érzékelő

A mérések elvégzéséhez a befecskendezőcső nyomásának mérésére van szükség. A nyomást az adagolórendszerhez illesztett nyomás- vagy nyomás-változás-jeladóval mérjük. A dízelmotorok vizsgálatának legnagyobb problémája a nyomásmérő rendszerhez illesztése. Leggyakrabban az adagolócső megbontásával, közdarab beiktatásával válik lehetővé a különböző működési elvű érzékelők beépítése. Lehetőség van a szerkezet megbontása nélkül az ún. csőfőgő alkalmazására is. Ez az átalakító a nyomócső gázolajnyomás hatására létrejövő kis átmérváltozását méri.

A villanócsöves készülékek az első henger befecskendezőcsővéhez illesztett nyomásérzékelőtől kapnak jelet. Ez megfelelő kialakítás és állítható készletelés után a villanócsövet fénykibocsátásra készíti. A forgó alkatrészeken állni látszó jel és az öntvényen (motorházon) feltüntetett viszonyítási jel segítségével a műszeren az előbefecskendezési szög közvetlenül leolvasható, és így ellenőrizhető.

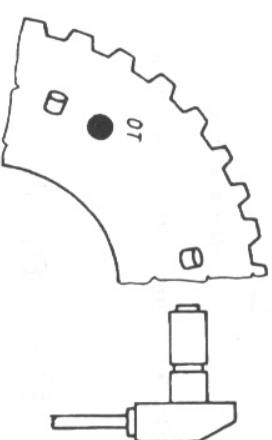
A korszerű elektronikusan vezérelt dízel-befecskendezők beállításának ellenőrzése ettől kissé eltérő. Bármely henger befecskendező-fűvókájában elhelyezkedő jeladó jele és a főtengelyen elhelyezett felső holtpontjeladó jelének időkülönbsége ugyanis a vezérlőegységben az aktuális előbefecskendezési

szöveget jelzi, és a vezérlőegységből ez az érték megfelelő berendezéssel kiolvasható (266. ábra).

A befecskendezőcsőben kialakuló nyomáshullám érzékelése lehetőséget ad a fordulatszám mérésére is.

Hagyományos megoldásoknál az első henger kivételével a többi henger dinamikus adagolásképződésének mérése általában nehéz, mert mérésükhöz már nem találunk vonatkoztatási jelzéseket a lendítőkeréken. Akkor végzhetjük el a mérést, ha a sztroboszkóplámpa készletetése széles tartományban állítható.

Az elektronikusan vezérelt adagolók esetén a lendkereken általában a hengerek számának megfelelő jeladó tüske található (267. ábra).



267. ábra. A hengerek számának megfelelő főtengely jeladók

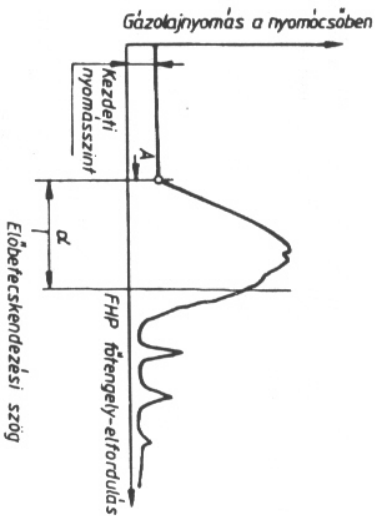
Ezek a tüskék a forgattyúháza erősített indukzív adó segítségével a fordulatszámról és a főtengely helyzetéről tájékoztatnak a vezérlőegység számára.

A dízelmotorok adagolórendszerében a befecskendezőszivattyú és a porlasztó közötti csődarabban üzemközben jellegzetes nyomásviszonyok alakulnak ki. A nyomás időbeli változását megfelelő érzékelő és erősítő segítségével megjeleníthetjük az oszcilloszkóp képernyőjén. Ha ismerjük a kifogástalan alkatrészekből álló, helyesen működő, jól beállított rendszerre jellemző képet (268. ábra), akkor ezt összehasonlíthatjuk alapnak tekinthetjük.

A nyomás-idő jellegzőbék – a gyújtásképektől eltérően – inkább függnek a motor és a tüzelőanyag-ellátó rendszer típusától. Ezért a vizsgálókészüléket, ill. a motort előállító vállalat a kezelési útmutatóhoz ma már megadja a hibátlan, ill. a jellegzetes hibákat rejtő üzemmódoz tartozó diagramokat. E jellegzőbékéből gyorsan és megbízhatóan következtethetünk a befecskendezőszivattyú, a vezetőcsövek és a fűvókák állapotára.

A képernyőre a nyomás-idő diagram mellett felvihető egy jel, ami a képzülethez csatlakozó villanócső működésének pillanatát fejezi ki. A villanócső elhangolásával (időbeli késleltetéssel) a jel eltolható a vizsgált henger felső

hőpontjának megfelelő görbesszakaszhoz, így az előbefecskendezési szöget is lehet olvasni.



268. ábra. A nyomás változása az adagolócsőben

15.8.2. Füstölésmérés

A dízelmotorok közismert jellegzetessége, hogy a tökéletlen égést a kipufogógáz feltűnő, jól látható füstje, nagymértékű koromtartalma jelzi. A kipufogógáznak a látható korom mellett a kevésbé észlelhető, de jelenlévő szén-monoxid is összetevője.

Bizonyítható, hogy a legkisebb fajlagos fogyasztás esetén a koromtartalom minimális. Ettől az állapottól növekvő füstöléshez egyre növekvő fajlagos fogyasztás tartozik. Megállapíthatjuk, hogy minden dízelmotoros gépjármű, amely bármilyen fordulatszám esetén sűrű, fekete füstöt bocsát ki, túlfogyasztással tüzemel.

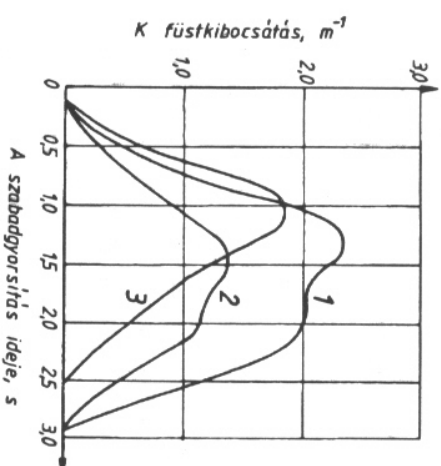
A füstölést leginkább befolyásoló hibaforrások a részvesteségek, a hengerként eltérő, egyenlőtlen tüzelőanyag-szállítás, a nem megfelelő előbefecskendezési szög, és a hengerként eltérő sűrítési viszony.

A kipufogógáz koromtartalma többféleképpen is vizsgálható.

A korom kiszűrésével működő készülék használatakor a korom a szűrőpapírra rakódik. Az értékelés alapja a szűrkeskálával való összehasonlítás. Ez az eljárás idejétmúlt, ritkán alkalmazott mérési módszer.

A kipufogógáz átvilágításával mérő műszerekben fényforrás világítja át a bevezetett gázt. A kipufogógáz fényelnyelése összefügg a füstöt alkotó anyagok koncentrációjával. Az érzékelő fényelemhez csatlakozó műszer a koromtartalmat %-ban jelzi.

A méréseket terhelt állapotban, görgős járműfékpadon vagy ennek hiányában ún. szabadgyorsítással kell végezni. Ilyen körülmények között lehet ugyanis a maximális fajlagos tüzelőanyag-fogyasztást, így a legnagyobb füst kibocsátást létrehozni. Az ideális a füst kibocsátás időfüggvényének (269. ábra) felvétele lenne, e helyett azonban legtöbbször megelégszünk a szabadgyorsításos csúcserték mérésével. A 269. ábra eltérő motortípusok (1, 2, 3) lehetséges karakterisztikáit mutatja.



269. ábra. A szabadgyorsítási füst karakterisztikák

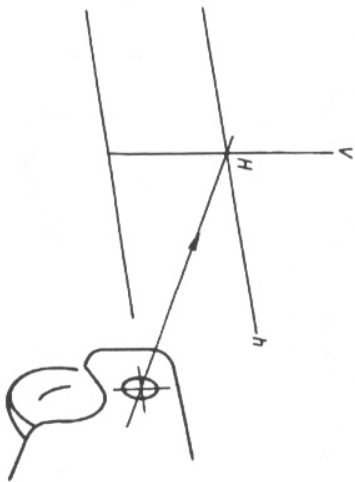
15.9. A fényvetők vizsgálata

A jármű első részén elhelyezett, megfelelő fényerősségű fényvetők a jármű előtt az utat, az ott levő tárgyakat, személyeket és az út környezetét világítják meg elegendő mértékben. E megvilágítás hatására a tárgyak, az út szegélye és az úttest különböző mértékű fényűrűséggel jelennek meg a vezető látóterében, így ezeket egymástól meg tudja különböztetni. Ez a feltétele a jó éjszakai látásnak, tehát a biztonságos közlekedésnek is.

A fényvetők minőségére, beállításukra az általuk létrehozott megvilágítás mérésével lehet következtetni. A járműbe épített fényvetőt a megállapodás szerinti távolságban, a haladás irányára merőleges síkban elhelyezett mérőernyő megfelelő pontjában mért megvilágítással lehet vizsgálni.

A mérőernyőn megjelenő megvilágítási képet előírások rögzítik. Ezek megismerésére, a szabványos pontok meghatározására gondolatban bocsásunk merőleges egyenest az egyik fényvető izzólámpájától a mérőernyőre. A döfpontot H betűvel jelöljük. A H ponton át húzott vízszintes koordinátát

jelölje h , az ugyancsak H ponton keresztül húzott függőleges koordináta a v jelű egyenes (270. ábra).



270. ábra. A mérőernyő h és v tengelyeinek szerkesztése

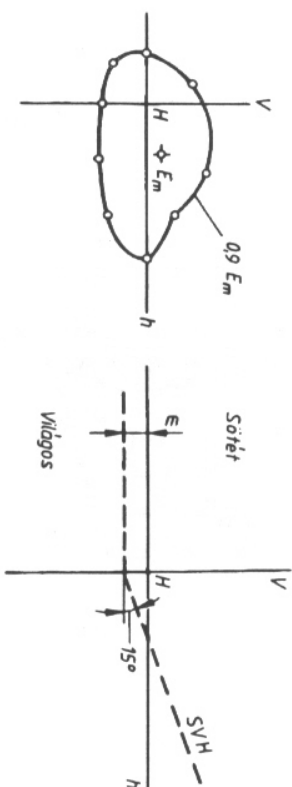
A távolsági fény akkor megfelelő, ha a járműtől 25 m-re elhelyezett mérőernyőn a H pont közelében mérhetjük a maximális megvilágítást, hagyományos izzólámpa esetén legalább 32 lx, halogénlámpa esetén legalább 48 lx értéket. Nevezzük ezt a legnagyobb megvilágítást E_m -nek. A 0,9 E_m értékű izolux görbének a H pont körül kell záródnia, ahogy azt a 271(a) ábra szemlélteti. Ha ez a feltétel nem teljesül, a fénylevő nem megfelelő, ill. nincs jól beállítva.

A tompított fényre különleges előírások érvényesek. A fénylevő annál jobb, minél kisebb a megvilágítás a mérőernyő felső részében, tehát legkevésbé vakítja a szembe közeledő jármű vezetőjét. E mellett a jobb alsó részben – ami megfelel a jármű előtti, 25...75 m távolságú útszakasz jobb oldalának – a lehető legnagyobb megvilágítást kell létrehozni.

A mérőernyőn tehát egy nagyon jól és egy igen rosszul megvilágított felületet kell kapnunk. A két felület közötti határvonalat sötét-világos határnak (SVH) nevezzük. Jobb oldali közlekedésnél, aszimmetrikus tompított fénylevő sugárzó fénylevő esetén a sötét-világos határ a mérőernyőn a 271(b) ábra szerint helyezkedik el.

Az m -mel jelölt méret a jármű és a mérőernyő közötti távolság század-része, tehát a szabványos 25 m esetén 0,25 m. Ez abból adódik, hogy az előírások szerint a fénylevő optikai tengelyének a vízszintessel bezárt szöge minimálisan 34°. E csekély mértékű „jelele” világitást akkor kell állítani, ha a járműben csak a vezető foglal helyet. A helyes beállítást követően, ha a hátsó ülésen is szállítunk utasokat vagy ha a csomagtartót is terheljük, a jármű hátsó tengelye a rugózás következtében lecsúsz. Az m távolság kisebb lesz, de a tompított fénylevő még ekkor sem sugároz a h vonal fölé, azaz még nem vakítja a szembejövőt.

A csak távolsági fénylevő sugárzó fénylevőket (a szóróüvegen R vagy HR jelzés olvasható, utóbbi a halogén izzólámpa alkalmazására utal) a jármű kocsiszekrényéhez képest egy-egy állítócsavarral úgy kell billenteni, ill. a jármű hossz tengelyéhez képest jobbra-balra állítani, hogy E_m minél közelebb essen a H ponthoz.



271. ábra. A jól beállított a) távolsági fénylevő megvilágítása a H pont környezetében, b) tompított fény megvilágításképe a mérőernyőn

A csak tompított fénylevő sugárzó fénylevő szóróüvegén C, ill. HC jelzés található. Ennél a lámpatípusnál az SVH vonal törespontját kell a v jelű vonalra állítani. Ugyanakkor ellenőrizni kell, hogy a sötét-világos határ vízszintes szakasza egyrészt párhuzamos-e a h vonallal, másrészt előírt mértékű-e az m , azaz a h és SVH közötti távolság. Állítási szintén a fénylevő billentésével lehet.

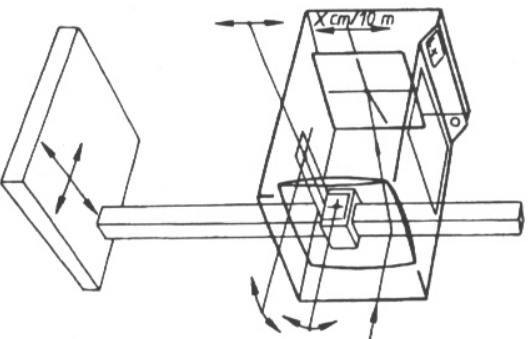
Az is elterjedt megoldás, mikor a fénylevő mind tompított, mind távolsági fény sugárzására alkalmas. A nemzetközi szabványok szerint e lámpa jele CR, ill. HCR. Ezekben kétfonalú (két izzószállú) DUOLUX vagy BILUX elnevezésű izzólámpát alkalmaznak. Halogénizzó esetén a típusjel H4. E fénylevők pontossági igénye még nagyobb. A kétféle sugárzási tulajdonságot külön-külön nem lehet állítani. Célserű tehát a kényesebb – tompított – fény beállítása a korábban leírtak szerint, és ezután ellenőrizhető a távolsági fény.

A fénylevők csak akkor látják el megfelelően feladatukat, ha

- a szóróüveg kívül és belül por- és vízmentes;
- az izzólámpa buraja belülről még nem szűrke a izzószáll gőzeitől és kívülről is tiszta;
- az izzólámpa pontosan a foglalatában van;
- a paraboloid tükör nem fátyolos, nincsenek homályos foltok.

A mozgatható fénylevővizsgáló készülékek optikai rendszertűk. A mérési távolságot a fénylevő előtt elhelyezett optikai rendszerrel rövidekítik le úgy, hogy a készülékbe épített mérőernyőn kicsinyített valódi kép jelenik meg. A megvilágítás mértékét beépített fényszerzőmérővel mérhetjük.

A készülékekkel a mérés során az előzőekben ismertetett megvilágítás-
képek ellenőrizhetők. A különböző gyártmányú készülékek csak szerkezeti
kialakításukban térnek el egymástól. Kedvező, hogy nappali fényviszonyok-
hoz is jól alkalmazhatók. A 272. ábrán fénnyvető-beállító berendezés látható.



272. ábra. Fénnyvető-beállító berendezés

Tartalom

1.	Méréstechnikai alapfogalmak.....	3
1.1	A metrologia tárgya.....	3
1.2.	A mérések.....	3
1.3.	Mértékegységek.....	4
1.4.	Az SI mértékrendszer alapegységei és alappértékei.....	5
1.5.	A mérőeszközök mérésügyi felosztása.....	8
1.6.	A mérésügyi irányítása.....	9
2.	Mérési hiba.....	10
2.1.	A mérési hiba fogalma, fajtái.....	10
2.2.	Durva hiba.....	10
2.3.	Rendszeres hiba.....	11
2.4.	Véletlen hiba.....	11
2.5.	A számított eredmények hibái.....	13
2.6.	Mérési eredmények megadása.....	15
2.7.	A mérések dokumentálása, értékelése.....	16
3.	A villamos mérőműszerek.....	18
3.1.	Méréshatár.....	18
3.2.	Érzékenység.....	18
3.3.	Műszerállandó.....	19
3.4.	Fogyasztás.....	19
3.5.	Pontosság.....	20
3.6.	Referenciafeltételek.....	20
3.7.	Megengedhető túlterhelés.....	21
3.8.	Különlleges működési körülmények.....	21
3.9.	A műszerek jelölései.....	22
3.10.	A villamos műszerek csoportosítása.....	27

4.	Az elektromechanikus műszerek	28
4.1.	Működési elv, általános felépítés	28
4.2.	Az elektromechanikus műszerek közös szerkezeti elemei	29
4.2.1.	Kitértőnyomaték képzése	29
4.2.2.	Visszatértő nyomaték képzése	30
4.2.3.	Csapágyazás	31
4.2.4.	Csillapítószerveket	32
4.2.5.	A lengőréssz mint tehetetlen tömeg	33
4.2.6.	A mutató, a skála és a műszertok	33
4.3.	Elektromechanikus műszerek beállása	35
4.4.	Az elektromechanikus műszerek hibaforrásai	38
4.4.1.	Mechanikai eredetű hibaforrások	38
4.4.2.	Hőmérsékletváltozás okozta hibaforrások	39
4.4.3.	Villamos hibaforrások	39
4.4.4.	Mágneses hibaforrások	40
4.5.	Állandó mágnesű műszerek	40
4.6.	Lágyvasas műszerek	43
4.7.	Elektrodinamikuss műszerek	45
4.7.1.	Vasmagos elektrodinamikuss műszerek	45
4.7.2.	Vasmentes elektrodinamikuss műszerek	47
4.8.	Hányadosmérők	48
4.9.	Hődrótós műszerek	50
5.	Az elektromechanikus műszerek alkalmazása	51
5.1.	Állandó mágnesű műszerek	51
5.1.1.	Állandó mágnesű ampermérők	51
5.1.2.	Állandó mágnesű voltmérők	53
5.1.3.	Állandó mágnesű ohmmérők	55
5.1.4.	Egyenirányítós műszerek	55
5.1.5.	Termoátalakítós műszerek	57
5.2.	Lágyvasas műszerek	57
5.2.1.	Lágyvasas árammérők	57
5.2.2.	Lágyvasas voltmérők	58
5.3.	Elektrodinamikuss műszerek	59

5.3.1.	Elektrodinamikuss ampermérők	59
5.3.2.	Elektrodinamikuss voltmérők	61
5.3.3.	Elektrodinamikuss wattmérők	61
5.4.	Keresztkerceses műszerek	63
6.	A regisztrálóműszerek	64
7.	Analóg elektronikus műszerek	67
7.1.	Analóg elektronikus feszültségmérők	67
7.2.	Univerzális elektronikus műszerek	70
8.	Digitális műszerek	72
8.1.	Digitális mérések	72
8.2.	A digitális műszerek felépítése	73
8.3.	Digitális feszültségmérők	73
8.3.1.	Kompenzáló rendszerű digitális feszültségmérők	74
8.3.2.	Feszültség-idő átalakító digitális voltmérők	77
8.3.3.	Kettős meredekségű digitális feszültségmérő	78
8.4.	Digitális multiméterek	80
8.5.	A digitális multiméterek jellemzői	81
8.6.	Digitális frekvencia- és időmérők	82
8.6.1.	Frekvenciamérés	82
8.6.2.	Periódusidő-mérés	84
8.6.3.	Időtartammérés	85
9.	Oscilloszkópok	87
9.1.	Az oszcilloszkóp megjelenítőegysége	87
9.2.	Az oszcilloszkóp működéskének alapja	88
9.3.	Az oszcilloszkópok felépítése	91
9.3.1.	Kétsugaras oszcilloszkóp	91
9.3.2.	Elektronkapcsolóval többsugarasított oszcilloszkóp	91
9.3.3.	Korszerű oszcilloszkópok	94
9.4.	Az oszcilloszkópok jellemzői	96
9.5.	Az oszcilloszkópok korszerű szolgáltatásai	98
9.6.	Az oszcilloszkópok csoportosítása	101

9.7.	Különleges oszcilloszkópok	102
9.7.1.	Mintavevő oszcilloszkópok	102
9.7.2.	Tárolóoszcilloszkópok	103
9.8.	Mérések oszcilloszkóppal	105
9.8.1.	Feszültségmérés	105
9.8.2.	Jelalakvizsgálat	106
9.8.3.	Frekvenciámérés	108
9.8.4.	Fázisszög mérés	110
10.	Villamos mennyiségek mérése	112
10.1.	Egyenáram és egyenfeszültség mérése	112
10.1.1.	Az elektromechanikus műszer alkalmazása	112
10.1.2.	Kompenzációs módszer	112
10.1.3.	Analóg elektronikus és digitális műszerek	114
10.2.	Váltakozó feszültség és váltakozó áram mérése	115
10.2.1.	Elektromechanikus és elektronikus műszerek alkalmazása	115
10.2.2.	Időfüggvények mérése	116
10.2.3.	A mérés határ kiterjesztésének eszközei váltakozó jelek mérésekor	117
10.3.	Villamos teljesítmény mérése	119
10.3.1.	Egyenáramú teljesítmény mérése	119
10.3.2.	Váltakozó áramú teljesítmény mérése	121
10.3.3.	Elektronikus teljesítménymérő	122
10.4.	Ellenállásmérés	123
10.4.1.	Ellenállásmérés feszültség- és áramméréssel	123
10.4.2.	Közvetlen ellenállásmérők	124
10.4.3.	Ellenállásmérés feszültség-összehasonlítással	125
10.4.4.	Áram-összehasonlítással	125
10.4.5.	Wheatstone-híd	126
10.4.6.	Thomson-híd	127
10.5.	Impedancia mérés	128
10.5.1.	Induktivitásmérés Maxwell–Wien-híddal	129
10.5.2.	Kapacitás mérés Schering-híddal	129

11.	Nem villamos mennyiségek villamos jellel alakítása	130
11.1.	Mérőátalakítók	130
11.2.	A mérőátalakítók jellemzői	130
11.2.1.	Statikus jellemzők	131
11.2.2.	Dinamikus jellemzők	133
12.	Nem villamos mennyiségek mérőátalakítói	136
12.1.	Ellenállás-változáson alapuló átalakítók	136
12.1.1.	Mérőérintkezők	136
12.1.2.	Csúszóérintkezős átalakítók	137
12.1.3.	Tenzometrikus átalakítók	139
12.1.4.	Piezorezisztív átalakítók	141
12.1.5.	Hőmérsékletfüggő ellenállások	142
12.1.6.	Fotoelektromos érzékelők	144
12.1.7.	Ellenállásos átalakítók mérőkörrel	146
12.2.	Induktív átalakítók	148
12.2.1.	Nyitott mágneskörű átalakítók	148
12.2.2.	Zárt mágneskörű átalakítók	150
12.2.3.	Magnetoelasztikus átalakítók	151
12.2.4.	Az induktív átalakítók mérőkörrel	153
12.3.	Kapacitív átalakítók	154
12.3.1.	Sík- és hengerkondenzátorok	154
12.3.2.	Kapacitív átalakítók mérőkörrel	157
12.4.	Aktív átalakítók	158
12.4.1.	Termoelektromos átalakítók	158
12.4.2.	Piezoelektromos átalakítók	161
12.4.3.	Oxigénkoncentrációs átalakítók	162
12.4.4.	Hall-hatású átalakítók	163
13.	Mérőátalakítók a járművekben és a diagnosztikában	165
13.1.	Helyzetérzékelők	165
13.2.	Az elmozdulás és az elfordulás mérése	166
13.3.	A fordulatszám mérése	169
13.4.	Az erő és a nyomás mérése	170

13.5.	Közegek áramlásának mérése	172
13.5.1.	Turbinás áramlásmérők	172
13.5.2.	Termikus áramlásmérők	172
13.5.3.	Örvényhagyo áramlásmérők.....	174
13.6.	A hőmérséklet mérése.....	174
13.6.1.	Folyadékfeltöltésű hőmérsékletmérők.....	175
13.6.2.	Ikerfémek hőmérséklet-érzékelők.....	175
13.6.3.	Ellenállás-hőmérők	175
13.6.4.	Hőelemes hőmérsékletmérők	176
13.7.	Gázok alkotóelemeinek mérése.....	177
13.7.1.	Hővezető képesség mérésén alapuló módszer.....	178
13.7.2.	Katallitikus égéskor keletkező hőmennyiség mérésén alapuló módszer	178
13.7.3.	Infravörös sugárzás elhelyésén alapuló módszer	179
13.7.4.	Radioaktív módszer.....	180
13.7.5.	Az oxigénkoncentráció mérése.....	181
14.	Műszerek és átalakítók a gépjárművekben	182
14.1.	Mérőrintkezők	182
14.2.	Jelzőműszerek	183
14.3.	A mérő- és jelzőműszerek érzékelői.....	185
14.3.1.	Szintérezékelők	185
14.3.2.	Hőmérsékletérezékelők	185
14.3.3.	Nyomásérezékelők	186
14.4.	A motor és a meghajtás vezérlésének érzékelői.....	186
14.4.1.	Fordulatszámérezékelők	187
14.4.2.	A főtengely helyzetének érzékelői	187
14.4.3.	Hőmérsékletmérés	189
14.4.4.	Levegőmennyiség-mérés	189
14.4.5.	A fajtószelep helyzetének érzékelői.....	191
14.4.6.	Kopogásérezékelők.....	191
14.4.7.	Az oxigénkoncentráció mérése.....	193
14.4.8.	A kerék szögsebességének mérése.....	194

15.	A gépjárművek vizsgálati módszerei és vizsgáló berendezései	196
15.1.	A gyújtórendszerek vizsgálata.....	196
15.1.1.	A gyújtórendszerek áramkörei és alkatrészei.....	196
15.1.2.	A gyújtórendszer vizsgálata.....	199
15.2.	A futóművek vizsgálata.....	209
15.2.1.	A futóművek geometriai jellemzői.....	209
15.2.2.	A futóművek geometriai jellemzőinek mérése	211
15.3.	A lengéscsillapítók vizsgálata	217
15.3.1.	A lengéscsillapítás jelentősége.....	217
15.3.2.	A lengéscsillapítók vizsgálata	220
15.4.	A fékek vizsgálata	223
15.5.	A kerék kiegyensúlyozása	228
15.5.1.	A kiegyensúlyozatlanság fogalma, fajtái	228
15.5.2.	Kiegyensúlyozó eljárások.....	230
15.6.	A belső égésű motor mechanikai állapota és a hengertömítettség vizsgálata.....	233
15.6.1.	A sűrítési végnyomás mérése.....	233
15.6.2.	A nyomásvesztés mérése	235
15.6.3.	A hengerek teljesítménykülönbségének vizsgálata.....	235
15.6.4.	A szívócső-depresszió mérése.....	236
15.7.	A benzin üzemű motor kipufogógázának vizsgálata.....	237
15.7.1.	Infra gázelemzők	239
15.7.2.	Lángionizációs gázelemzők	239
15.8.	A dízelmotorok vizsgálata.....	239
15.8.1.	Az előbefecskendezési szög ellenőrzése.....	239
15.8.2.	Füstölésmérés.....	242
15.9.	A fénnyvetők vizsgálata.....	243
	Tartalom	247