

1. SARRERA

Polimetroa edo multimetroa, intereseke hainbat magnitude edo seinale mota neurtzeko balio duen aparatua da:

- Intentsitate edo korrante jarraituak: jarraituko amperometroa
- Intentsitate edo korrante sinusoidal alferno garbiak: alfernoko amperometroa
- Tentsio edo boltaje jarraituak: jarraituko voltimetroa
- Tentsio edo boltaje sinusoidal alferno garbiak: alfernoko voltimetroa
- Erresistentziak: ohmetroa

Beraz, bost neurgailu ditugu aparatua bakarrean.

2. POLIMETRO ANALOGIKOAREN FUNTZIONAMENDUAREN OINARRIAK

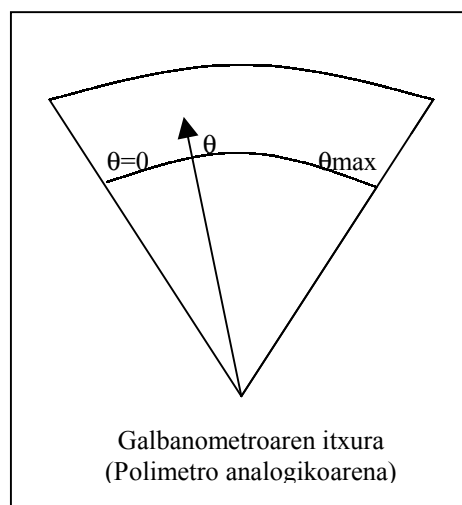
2.1 D'Arsonvalen Galbanometroa eta deflexio legea

Polimetroaren oinarrian D'Arsonvalen galbanometroa (edo haril birakor-iman finko sistema) dugu (ikusit eranskina). Azken finean, galbanometrotik pasatzen den korronteak, orratz adierazle baten biraketa angelu proportzionala eragiten du:

$$\theta = k \times I_{\text{batezbeste}} \quad (\text{deflexioaren legea}).$$

θ deflexioa edo θ biraketa angelua da

Orratzaren gehieneko deflexioa (biraketa angelua) sortzen duen korronteari, **eskalaren amaierako korrontea** (I_{fe} , corriente de fondo de escala) deitzen diogu. Askotan $I_{fe} \sim 50 \mu A$.



3.1 Irudia. Polimetroaren itxura: biraketa angelua

Deflexioaren legea: $\theta = k \times I$

$$\theta = 0 \rightarrow I = 0$$

$$\theta_{\max} = k \times I_{\max} = k \times I_{fe}$$

Deflexio normalizatua (hemendik aurrera deflexioa) definitzen badugu:

$$D = \text{Deflexioa} = \theta / \theta_{\max}$$

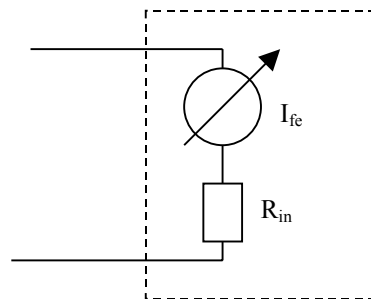
Orduan:

$$D = 0 \rightarrow \theta = 0 \rightarrow I = 0$$

$$D = 1 \rightarrow \theta = \theta_{\max} \rightarrow I = I_{fe}$$

$$D_{\text{orokorra}} \rightarrow \theta = D \times \theta_{\max} \rightarrow I = D \times I_{fe}$$

Harila eraikitzeko erabiltzen den hariak agertzen duen erresistentziari barneko erresistentzia (R_{in}) esango diogu. Normalean, $R_{in} \sim 2 \text{ K}\Omega$.

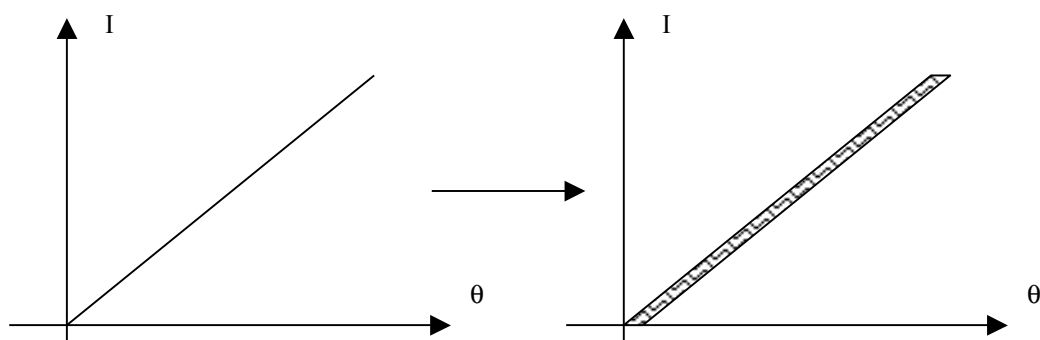


3.2 Irudia. Galbanometroaren ikurra, I_{fe} eta barneko erresistentzia agertzen

Beraz, galbanometroa amperemetro simple bat da, zeinek gehienez I_{fe} korrontea neur baitezake eta R_{in} barneko erresistentzia baitu.

2.2 Galbanometroaren kalibraren errorea

Fabrikazio prozesuak eta bigarren mailako efektuak direla eta, galbanometroaren deflexio legea ($I = k \times \theta$), ez da zehatz-mehatz betetzen. Horregatik, fabrikatzaileak, korrontea neurtzean gerta daitekeen errore absolutuaren maximoa ematen digu (kalibraren errorea).



3.3 Irudia. Kalibraren errorea, I_{fe} Korrontearen ehunekoetan ematen da.

Adibidez, $\text{Err}_{\text{Kalibr.}} = \%2 \times I_{\text{fe}} \quad I_{\text{fe}} = 50 \mu\text{A}$

→ Errorea $I_G = +/-1 \mu\text{A} \triangleleft \Delta D = +/- 0.02$

Hori dela eta, korrante edo tentsio bat neurtzean, errore erlatiboa txikiagoa izango da deflexioa handia bada.

Adibidez, $V_{\text{fe}} = 10 \text{ V}$ bada, $\Delta V = +/- 0.2 \text{ V}$.

$V = 9 \text{ V}$ bada, → $8.8 \text{ V} < V < 9.2 \text{ V}$ (% 2.22)

$V = 1 \text{ V}$ bada → $0.8 \text{ V} < V < 1.2 \text{ V}$ (% 20)

Beraz, kalibrapen errore erlatiboa txikiagoa da eskala amaieran. Hau da, deflexio zabalena lortzea komeni da.

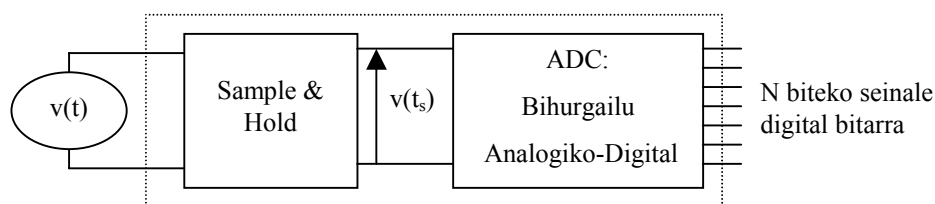
Neurtzaileak ere, datua irakurtzean, antzeko problema edo errorea izango du, zeren eta angelu minimo bat bereiziko baitu (pertsonaren prezisioaren araberakoa) eta beraz prezisio errore bat agertzen zaigu. Nolabait, hau ere, kalibrapen errorearen noranzko berean doa eta portarea berdina du (absolutua da eta %etan baxuagoa da deflexio zabalagoetan).

3. POLIMETRO DIGITALAREN FUNTZIONAMENDUAREN OINARRIAK

3.1 ADC bihurtu analogiko-digitalaren oinarriak

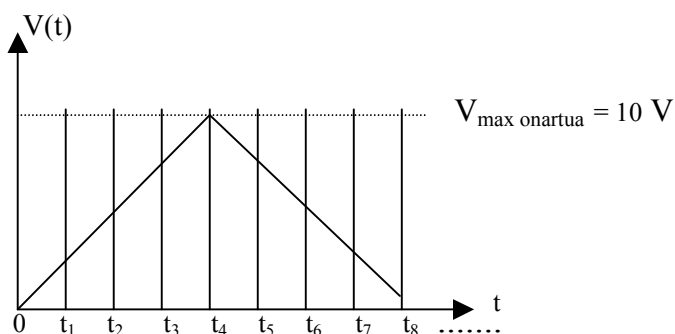
Bihurketa analogiko-digitala (digitalizazioa) neurgailu digitalen (multimetro eta osziloskopioen) oinarritzko osagaia da eta, funtsean, tentsio analogiko baten kuantifikazioan datza: prozesuaren amaieran, jatorrizko tentsioari, zedarrizten diren maila posible finitu batzuen arteko bat esleitzen zaio. (“2ⁿ” maila posible badaude, tentsioari dagokiona ‘n’ biteko zenbaki digital batez adieraziko da).

Bihurketa edo bilakaeraren prozesuak gauzatzeko denbora bat behar duenez, aurreko etapa batek seinalearen maila harrapatzen du (behar den unean) laginketa prozesuan ($v(t_{\text{sample}})$) eta bilakaera osorik gertatzeko behar den denboraz mantentzen du (hold) (normalean kondentsadore baten bidez).

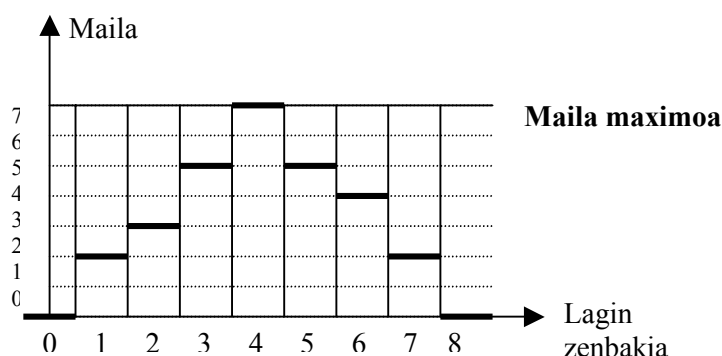


3.4 Irudia. Bihurgailu analogiko-digitalaren (ADCaren) ohiko eskema

Hurrengo irudietan 0 voltetik 10 volterainoko seinale trianguluar ez-simetriko baten digitalizazio prozesua islatzen da, amaieran 8 mailako seinale digitala lortzen (adibide honetan, gehienezko maila 10 volteko tentsioari dagokio). S&H eta ADC blokeen funtzionamendu zehatza azaltzea asignatura honen xedeetatik kanpo geratzen da.



3.5 Irudia. Digitalizatu beharreko seinale analogikoa (laginketa uneak adierazten dira)



3.6 Irudia. Lagin bakoitzari esleitzen zaion maila (8 maila zedarritu dira)

Emaitza oso erraz adierazten da taula batez

Lagina	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Denbora	0	t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅	t ₆	t ₇	t ₈
V	0	2.5	5	7.5	10	7.78	5.55	3.33	1.11
Maila	0	2	3	5	7	5	4	2	0
Maila (3 bit)	000	010	011	101	111	101	100	010	000

3.2 Seinale digitalaren abantailak eta desabantailak

Abantailak: sistema digitalen aplikazio-aukerak

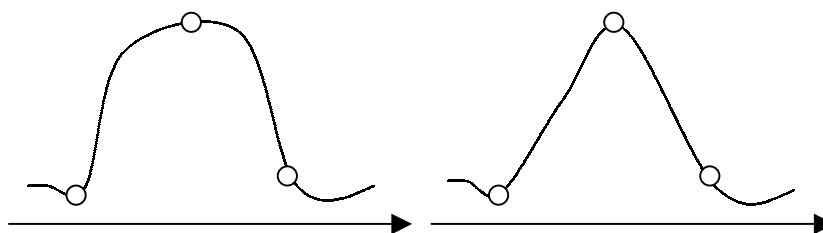
- Kristal Likidoko Pantaila (LCD) batean begietaratzeko erraztasuna.
- Memoria batean gordetzeko erraztasuna (askotan, memoriako 4000 lagin).
- Prozesatze digitalerako aukera, besteak beste –osziloskopioetan– kurtsoreak, seinalearen batezbestekoak, puntako detekzioa, igoera-denboraren kalkulua, benetako balio eraginkorra eta beste funtzio matematiko batzuk (deribatuak, integralak, logaritmoak, esponentzialak, Fourier-en eraldaketa azkarra...).
- Ordenadorera, inprimagailura ... pasatzeko aukera.

Desabantailak:

- Kuantifikazioa dela eta gertatzen den informazio-galera:
Aurreko adibidean, 0-10 V tartean dauden tentsio-balio infinituen ordez, bakarrik 8 maila digital zeuden. Honela, 1 eta 7 zenbakidun laginak tentsio ezberdinei dagozkie baina balio digital berdinez adierazten dira. Beraz, indeterminazio bat agertzen da (010 zenbakiaren jatorrizko balioa 2.85-4.28 V tartean dagoela, besterik ez dakigu) eta efektu honek kuantifikazioaren errorea du izena.

Zailtasun / desabantaila hau hein batean arintzeko, zedarrituriko maila kopurua igo daiteke, baina orduan kuantifikazioa konplexuagoa gertatzen da.

- Laginketa une konkretuetan gertatzen denez (t_s denborako distantziaz hartzen dira; hau da, f_s maiztasunaz lagintzen da), seinaleak denbora-jarraitasuna galtzen du (arazoa arintzeko, f_s igo beharko genuke). Pantailan irudikatzen den seinaleak kasu analogikoan baino eraldaketa gehiago izaten ditu (interpolazioak eta guzti) eta ondorioz Neurketa analogikoa fidagarriagoztat jotzen da, bide zuzenagotik lortu ohi da eta.



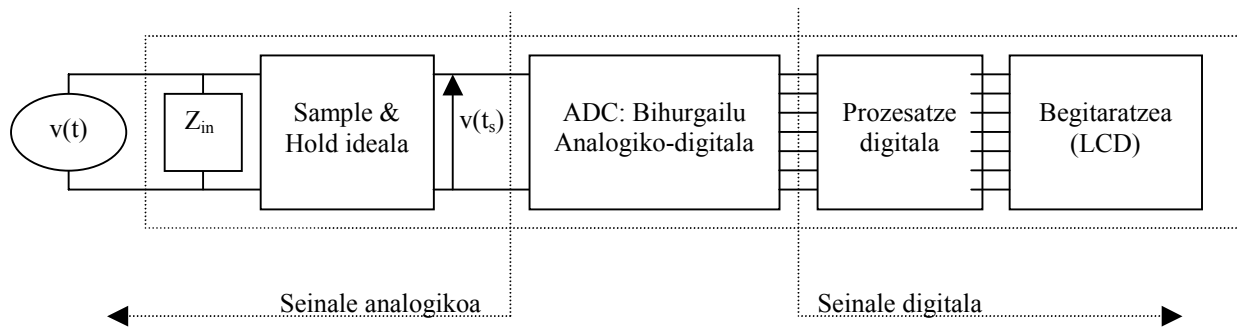
3.7 Irudia. Adierazpen digital berdineko bi seinale (puntu gehiago behar dira, $f_s \uparrow$).

Desabantailak arintzeko prozesuak (mailak ugaritzea eta laginketa-maiztasuna igotzea) azken mugaraino eramanez gero, seinale analogikoaren zehaztasuna lortuko genuke denboran eta tentsioetan (X eta Y ardatzetan) baina memoria infinitua eta bihurketa-denbora hutsak beharko genituzke.

3.3 ADC-aren aplikazio zuzena: voltmetro digitala

Multimetro digitalen osagai nagusia ADC bihurgailu analogiko-digitala da (aurretik, normalean, sample & hold bat izaten du) zeinek sarrerako inpedantzia batean dagoen tentsio analogikoa zenbaki digital bihurtzen baitu. Ondoren, emaitza digital hau prozesatu eta erraz aurkez daiteke LCD kristal likidoko pantaila batean (gaindiezinezko ziurgabetasunaz, zeren eta balio digital bati tentsio *tarte* bat baitagokio).

Kontzeptu honen aplikazioak berehala garamatza voltmetro digital batera. Honen eskala amaierako balioa ADC-ak onartzen duen balio analogiko maximoa izango da.



3.8 Irudia. ADCaren aplikazio zuzena: voltmetro digitala

3.4 Kuantifikazio errorea bihurgailu digitalean

Bihurketaren berezko errorea da. Eskala bakoitzeko kuantifikazioaren ziurgabetasuna konstantea denez (Eskala amaierako balioa/Maila kopurua/2), neurketak eskala amaieraren inguruan prezisio handiagoa izango du ziurtatuta (%-etan). Hori dela eta, ahalik eta eskala baxuenean neurtzea komeni da.

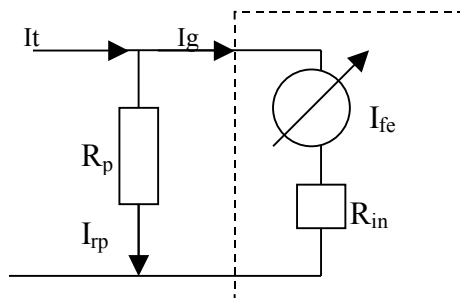
Errore hau beraz, polimetro analogikoan agertzen den kalibrapen (eta irakurketaren prezisio falta) errorearen parekoa da.

4. AMPEREMETROAREN ERAIKUNTZA

4.1 Analogikoa

Galbanometro batez, beraz, korronte jarraituak neur ditzakegu, baina bakarrik I_{fe} baino txikiagoak direnean. Eta korronteak, askotan, handiagoak izaten dira.

Irtenbidea: Paraleloan R_p jartzea (Shunt izeneko paraleloko erresistentzia txikia).



3.9 Irudia. Amperemetro baten egitura, galbanometrotik abiatzen

Eskeman agertzen diren hiru korronteak honako hauek dira:

- Neurtu nahi dugun korronte osoa: I_t (demagun gehienez I_{max} dela).
- Galbanometrotik sartzen dena: I_g (gehienez sar daitekeena I_{fe} da).
- Galbanometrotik desbideratu behar duguna: I_{rp} .

Gehienez I_{max} neurtu nahi badugu, jarri behar dugun erresistentzia kalkulatzeko:

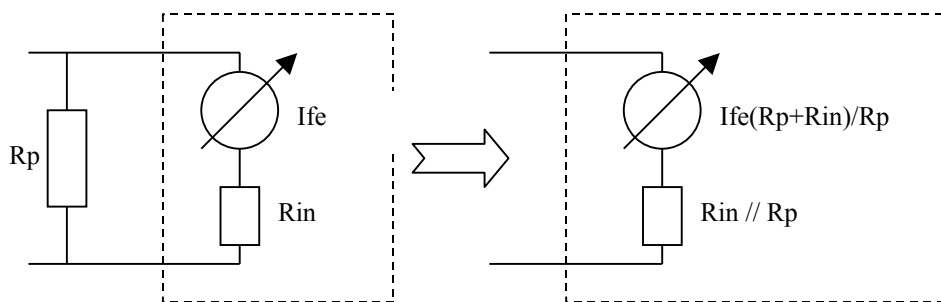
$$I_{fe} \cdot R_{in} = I_{rpmax} \cdot R_p = (I_{max} - I_{fe}) \cdot R_p \Rightarrow R_p = \frac{I_{fe}}{I_{max} - I_{fe}} \cdot R_{in}$$

Eta, edozein kasutan, irakurtzen duguna (galbanometrotik pasatzen dena) neurtu nahi dugunarekin erlazionatzeko:

$$I_g \cdot R_{in} = I_{rp} \cdot R_p \Rightarrow I_{rp} = I_g \cdot \frac{R_{in}}{R_p}$$

$$I_t = I_g + I_{rp} = I_g \cdot \left(1 + \frac{R_{in}}{R_p} \right)$$

Amperemetroaren inpedantzia R_{in}/R_p denez eta onartzen duen korronte maximoa $I_{fe} \cdot (R_p + R_{in})/R_p$ denez, bere ikurra galbanometro baliokide batena izan daiteke:



3.10 Irudia. Amperemetroaren galbanometro baliokidea

Ariketa: Galbanometro batez ($I_{fe} = 50 \mu A$ eta $R_{in} = 2K\Omega$) eskala amaieran $I_{max} = 1 mA$ neurtuko duen amperemetroa prestatu nahi dugu. Zer erresistentzia izango da R_p ? Eta I_{max}/I_{fe} erlazioa? [Emaitza: 105.3Ω , $I_t = 20 I_g$]

4.2 Digitala

Korronteak neurtzeko, amperemetro analogikoaren kasuan bezala, eskalarekin aldatuko den sarrerako inpedantzia baxu bat erabiltzen da. ADCaren sarreran eragiten den tentsioa (Burden voltage delakoa) 5 mV baino txikiagoa izaten da, bai eta 1A bezalako korronteekin ere (normalean $100 \mu V$ izaten da).

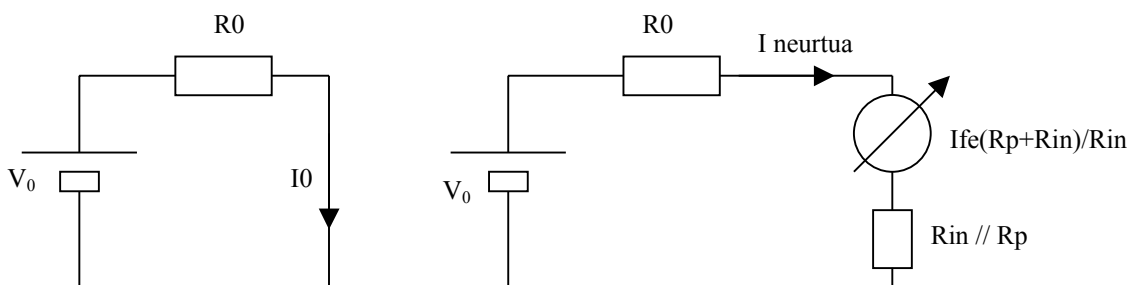
Tentsio hau digital bilakatzeko, sentikortasun (maila kopurua/mV) egokia duen ADCa erabiltzen da.

4.3 Amperemetroa zirkuituan sartzean gertatzen den karga errorea

Demagun zirkuitu simple bat dugula (edo konplexuago baten Thevenina) eta handik pasatzen den korrontea (I_0) neurtu nahi dugula (I_{neurtu}).

Korrontea neurtzeko zirkuitua ireki eta bertatik pasatzen den korronte osoa galbanometrotik pasarazten dugu.

Halere, erresistentzia berri bat sartzean, korrontea pixka bat jaisten da.



3.11 Irudia. Amperemetroak zirkuituan sartzen duen karga errorearen kalkulua

Karga errorea: $I_{neurtua} < I_0 = I_{neurtu}$ nahi duguna

Errorearen kalkulua:

$$I_0 = \frac{V_0}{R_0}$$

$$I_m = \frac{V_0}{R_0 + (R_p // R_{in})}$$

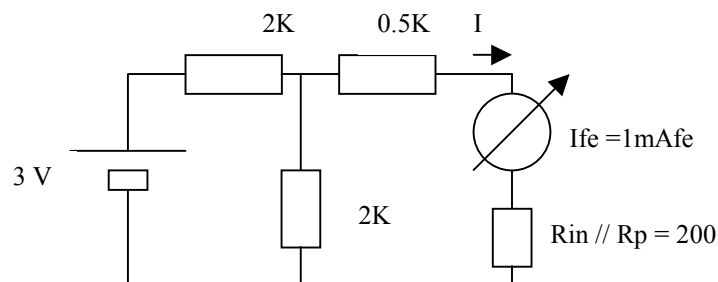
$$Errorea = \frac{I_m - I_0}{I_0} = \frac{\frac{V_0}{R_0 + (R_p // R_{in})} - \frac{V_0}{R_0}}{\frac{V_0}{R_0}} = \frac{R_0}{R_0 + (R_p // R_{in})} - \frac{R_0}{R_0} = \frac{-R_p // R_{in}}{R_0 + (R_p // R_{in})}$$

$$Err = \frac{-1}{1 + \frac{R_0}{R_p // R_{in}}}$$

Errorea txikiagoa izango da $(R_p // R_{in}) \ll R_0$ denean (zirkuituan aurreikus zitekeenez).

OHARRA: Errorea Thevenin eta barneko erresistentzien menpe dagoenez, bi neurketa eginez kalkulatu eta saihestu daiteke (barneko bi erresistentzia ezberdin erabiltzen).

Ariketa: galbanometro batez ($I_{fe}' = 1mA_{fe}$ eta $R_{in}' = 200 \text{ ohm}$) I neurtzean gertatzen den errorea kalkulatu.



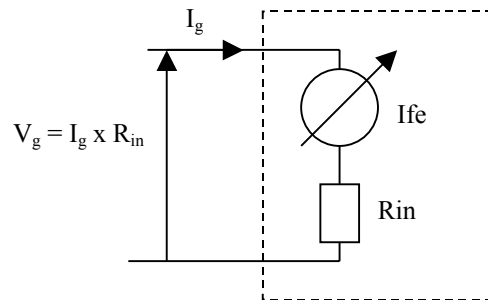
3.12 Irudia. Ariketako zirkuitua

[Emaitza: % 11]

5. VOLTIMETROAREN ERAIKUNTZA

5.1 Analogikoa

Galbanometro batez tentsioak neur ditzakegu, baldin eta beraien eta galbanometrotik pasatzen den korrontearen arteko erlazioa badakigu.



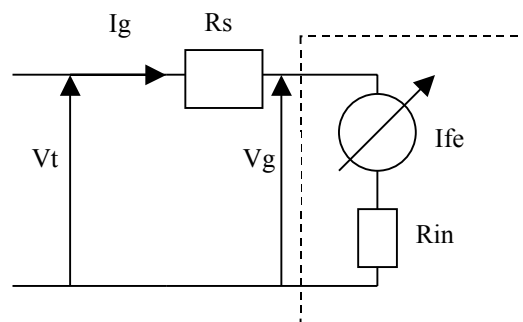
3.13 Irudia. Galbanometroak suposatzen duen voltimetroa

Berehala ikusten dugunez, galbanometroan, bere egitura aldatu gabe, erortzen den tentsioa $I_{neurtu} \times R_{in}$ dela. Eta gehienez, beraz, $I_{fe} \times R_{in}$ da (normalean ~ 0.1 V) eta hori gutxiegi izaten da tentsioak normalean handiagoak izaten direlako.

Irtenbidea: Seriean R_s (serieko erresistentzia nahiko altua) jartzea.

Demagun:

- Neurtu nahi dugun tentsioa V_t dela (demagun gehienez V_{max} dela)
- Galbanometroan V_g jauzten dela (gehienez $R_{in} \times I_{fe}$)
- Galbanometrotik kendu behar duguna: V_{rs}



3.14 Irudia. Galbanometroa tentsio normalak neurtzeko voltimetro bilakatzen

Gehienez V_{max} (edo V_{fe}) neurtu nahi badugu, jarri behar dugun erresistentzia kalkulatzeko:

$$V_{max} = I_{fe} \cdot (R_{in} + R_s) \Rightarrow R_s = \frac{V_{max}}{I_{fe}} - R_{in}$$

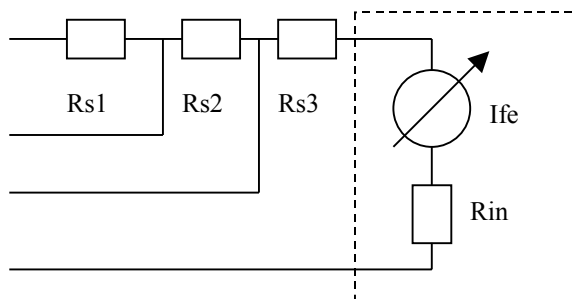
Eta, edozein kasutan, irakurtzen duguna (galbanometrotik pasatzen den korrrotea) neurtu nahi dugunarekin erlazionatzeko:

$$I_g \cdot (R_{in} + R_s) = V_t \Rightarrow V_t = I_g \cdot (R_{in} + R_s)$$

R_s altua jartzekotan, tentsio oso altuak ere neur ditzakegu baina tentsio txikiek eragingo luketen deflexioa oso txikia izango litzateke. Beraz, R_s igo ahala prezisioa txikiagoa da baina tentsio maximoa handiago da.

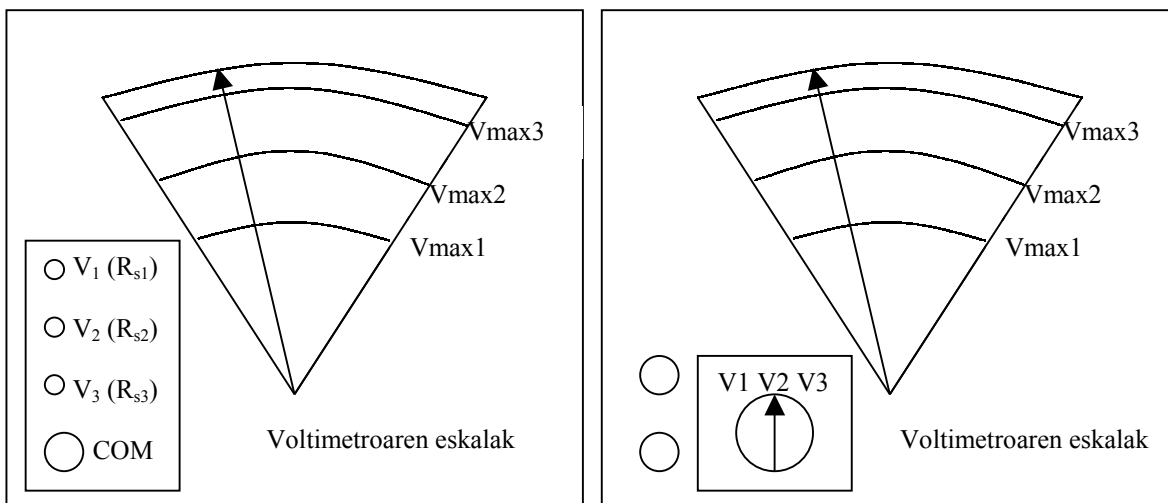
Horretarako soluzioa: eskala amaierako tentsio ezberdinak neurtzeko gauza den voltmetroa da (eskala ezberdinak dituen voltmetroa).

Eskala ezberdinetan lan egiteko (tentsio oso ezberdinak neurtzeko), aukeran erresistentzia ezberdinak dituen diseinua erabiltzen da:



3.15 Irudia. Eskala ezberdinak dituen voltmetroa

Karatulan, eskala guztietako neurriak adierazten dira eta neurtzen ari den pertsonak datu egokia irakurri behar du.



3.16 Irudia. Eskala ezberdinak dituen voltmetroaren karatula

Ariketa: Galbanometro batez ($I_{fe} = 50 \mu A$ eta $R_{in} = 2K\Omega$) hiru eskala dituen voltmetroa diseinatu ($V_{max1} = 5 V$, $V_{max2} = 50 V$, $V_{max3} = 500 V$). [Emaitza: $R_{s1} = 98K\Omega$, $R_{s2} = 900 K\Omega$, $R_{s3} = 9 M\Omega$].

Voltmetro analogikoaren sarrerako inpedantzia eta sentikortasuna

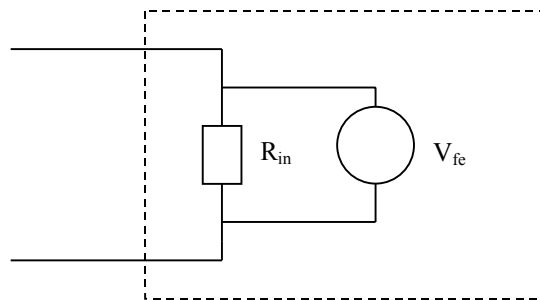
Voltmetro baten *sarrerako inpedantzia* $R_{in} = V_{fe} / I_{fe}$ ezberdina izango da eskala bakoitzean (handiagoa eskala igo ahala).

Voltmetro baten sentikortasuna: $S = 1/I_{fe}$ (mA^{-1}) bezala definitzen da.

$$S = R_{in} / V_{fe} (K\Omega/V) \quad [R_{in} = S \times V_{fe}]$$

Sentikortasuna oso altua bada (eskala amaierako korronea oso baxua bada) zirkuitutik oso korrone txikia hartuz gero deflexio nabaria lortzen dugu. R_{in} finko baterako, V_{fe} txikiagoak izango genituzke (prezizio gehiago karatulan).

Voltmetro idealak, zirkuituan aldaketarik ez eragiteko, ez luke korronearik beharko ($R_{in} = \infty$). Voltmetro erreala bitan deskonposa dezakegu: voltmetro ideala + barneko erresistentzia ez infinitua (paraleloan).



3.17 Irudia. Voltmetroaren ikurra: Barne erresistentzia eta voltmetro ideala

V_{fe} , R_{in} eta S hirukotetik bi ezaugarri jakitea nahikoa da voltmetroa zehatz mehatz ezagutzeko.

5.2 Digitala

Esan bezala, voltmetro digitala da ADC bihurgailuaren aplikaziorik zuzenena. Lortutako voltmetroaren eskala amaierako balioa (V_{fe}) ADC bihurgailuak onartzen duen balio maximoa izango da.

Eskala aldaketa bi eratara lor daiteke:

- Tentsioa banatzaile erresistibo batez egoki daiteke, voltmetro analogikoetan egiten zen bezala (orduan aparatuen barneko inpedantzia osoa ere aldatzen da).

- b) ADCaren barneko eskala (bilakaerako balio maximoa) egoki daiteke (honela, sarrerako inpedantzia ez da aldatzen).

Hori dela eta, normalean, DC Voltmetro batean sarrerako erresistentzia pare bat aurkitzen ditugu:

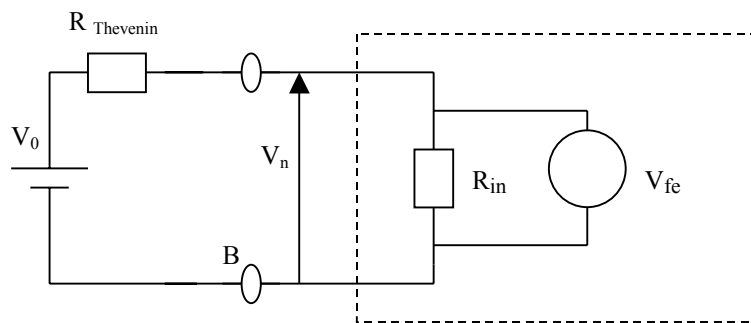
$$R_{in} = 10 \text{ M}\Omega \text{ eskala altuetan (100V - 1MV)}$$

$$R_{in} = 10 \text{ G}\Omega \text{ eskala baxuetan (100 mV - 10V)}$$

5.3 Voltmetroa zirkuituan sartzean gertatzen den karga errorea

Voltmetroaren inpedantzia finitua denez, zirkuitutik korrante bat hartu behar du (deflexioa lortzeko). Beraz, tentsio bat neurtzeko, voltmetroa sartzen dugunean, zirkuituko baldintzak eraldatzen ditugu.

Demagun zirkuitu baten Thevenin baliokidea dakigula eta bi punturen artean (zirkuitu irekian) jauzten den tentsioa (V_0) neurtu nahi dugula. Neurtuko duguna ez da V_0 izango, baizik eta V_{neurtu} (V_n).



3.18 Irudia. Voltmetroa eta karga errorea: $V_n \neq V_0$.

$$V_n = \frac{V_0}{R_0 + R_{in}} \cdot R_{in}$$

$$\text{Errorea} = \frac{V_n - V_0}{V_0} = \frac{\frac{V_0}{R_0 + R_{in}} \cdot R_{in} - V_0}{V_0} = \frac{R_{in}}{R_0 + R_{in}} - 1 = \frac{-R_0}{R_0 + R_{in}}$$

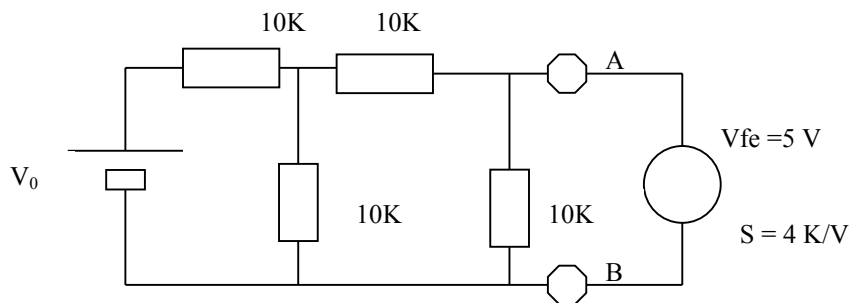
$$\text{Err} = \frac{-1}{1 + R_{in}/R_0}$$

Errorea txikiagoa izango da $R_{in} \gg R_0$ denean.

Eskala altuetan, beraz, karga errorea txikiagoa da, baina karatulan prezisio txikiagoz irakurtzen dugu. Hortaz, gustatuko litzaiguke R_{in} oso altua eta V_{fe} txikia (hau da, S sentikortasun altua).

Karga errorea eta kalibrapen errorearen arteko konpromisoa

Karga errorerik txikiena -daturik zuzenena- eskala altuenetan lortzen da: amperemetroak inpedantziarik baxuena eta voltimetroak inpedantziarik altuena aurkeztzen dituzte. Kalibrazio errorerik txikiena izateko (hau da datua erraz irakurtzeko edo prezisioa -ehunekoetan- altuena izateko), aldiz, posiblea den eskalarik txikiena aukeratu beharko genuke deflexio zabalena lortzeko. Beraz, konpromiso batera iritsi behar da.



3.19 Irudia. Karga erroreari buruzko ariketa

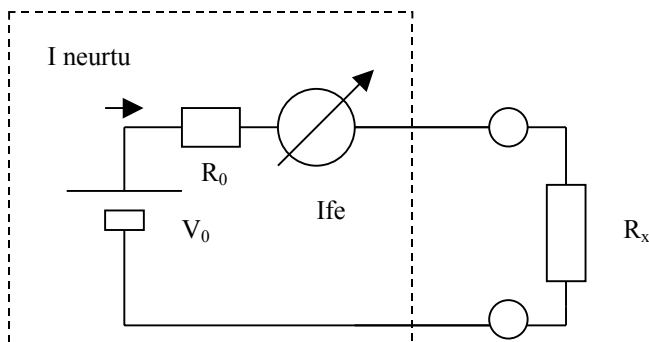
Ariketa: V_{AB} tentsioa neurtzen saiatzean, irudiko galbanometroak 1.54 V adierazten du. Zenbat da V_0 tentsioa? Zein da neurtu beharko genukeena? [Emaizak: $V_0 = 10\text{ V}$, $V_{AB\text{ erreala}} = 2\text{ V}$].

6. OHMETROA

6.1 Ohmetro analogikoaren funtzionamendua

Galbanometroaz erresistentziak neurtzeko, haietan zehar korronte bat eragin behar dugu: tentsio iturri bat (bateria edo pila bat) gehitu behar diogu galbanometroari.

Tentsio iturriak, galbanometroak eta serieko erresistentzia batek osatzen dute ohmetroa.



3.20 Irudia. Ohmetroaren zirkuitu baliokidea. R_0 , barneko inpedantzia da ($R_{galb} + R_s$)

Gehienezko biraketa angelua (gehienezko deflexioa, $D = 1$), erresistentzia hutsa denean lortzea komeni da: $I_{fe} = V_0/R_0$ eta hortaz, $R_0 = V_0 / I_0$ aukeratzen da beti.

Neurtzen dugun tentsioaren eta R_x erresistentziaren arteko erlazioa jakiteko:

$$I_n = \frac{V_0}{R_0 + R_x} \quad \text{eta} \quad I_{fe} = \frac{V_0}{R_0} \quad (R_0 \text{ hala aukeratuta})$$

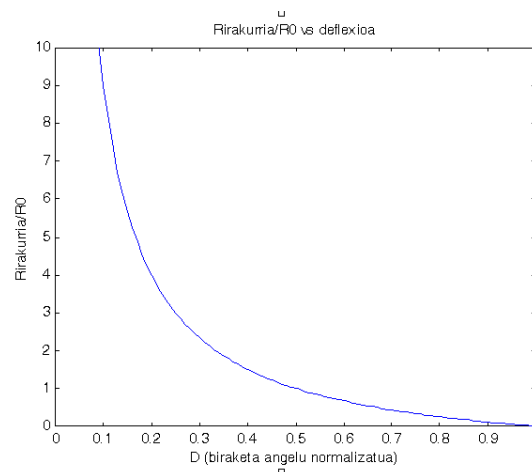
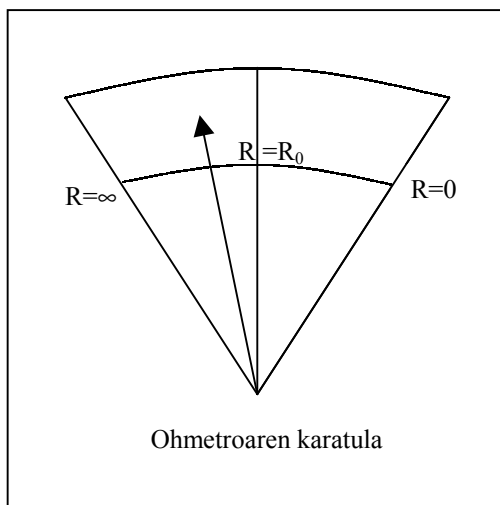
$$\frac{I_n}{I_{fe}} = D = \frac{\frac{V_0}{R_0 + R_x}}{\frac{V_0}{R_0}} = \frac{R_0}{R_0 + R_x} \quad (\text{deplexioa edo angelua})$$

$$\left\langle \begin{array}{l} I_n = 0 \Rightarrow R_x = \infty \\ I_n = I_{fe} \Rightarrow R_x = 0 \end{array} \right\rangle \quad R_0 \text{ horretarako aukeratu denez, betetzen dira.}$$

$$I_n = I_{fe} / 2 \Rightarrow R_x = R_0 \quad (\text{Eskala erdiko erresistentzia, } D = 0.5)$$

$$D = \frac{R_0}{R_0 + R_x} \Rightarrow R_{karatulan} = R_0 \cdot \left[\frac{1}{D} - 1 \right]$$

(Noski, karatula behin bakarrean markatzen da: pila berria dagoenean)



3.21 Irudia. Ohmetroaren karatula eta deflexioaren legea

Ohmetro batean, askoz hobeto irakurtzen dugu -eta beraz prezisioa handiagoa izango da- erresistentzia eskalaren erdiko baliotik hurbil dagoenean. $D = 1$ inguruan (hau da, $I = I_{fe}$ inguruan) erresistentzia txikiak metatzen dira eta $D = 0$ ($I = 0$) inguruan erresistentzia altuak.

Ariketa: $R_x = 48 \text{ K}$ erresistentzia neurtzean $D = 0.2$. Zenbatekoa da eskala erdiko erresistentzia. Eta $I_{fe} = 50 \mu\text{A}$ bada, zein da V_0 .

[Emitza: $R_0 = 12 \text{ k}\Omega$, $V_0 = 0.6 \text{ volt}$].

6.2 Bateria zahartzearen ondorioz agertzen den errorea eta hau gutxitzeko zeroaren doiketa

Bateriaren zahartzea

Ohmetroan D deflexioa badugu, irakurtzen dugun balioa izango da:

$$R_{\text{karatulan}} = R_0 \cdot \left[\frac{1}{D} - 1 \right] \quad (R_0 = V_{\text{pila}} / I_{\text{fe}} \text{ dela})$$

Erabiltzen dugun bateriaren balioa V_0 izan beharrean V_0' bada, deflexioa ez da beharko genukeena eta, beraz, neurketaren balioa ($R_{\text{irakurria}}$) ez da R_x .

$$D_{\text{berria}} = \frac{I_{\text{neurtu}}}{I_{\text{fe}}} = \frac{\frac{V_0'}{R_0 + R_x}}{\frac{V_0}{R_0}} = \frac{V_0'}{V_0} \frac{R_0}{R_0 + R_x}$$

$$D_{\text{berria}} = \frac{R_0}{R_0 + R_{\text{irakurria}}} \Rightarrow R_{\text{irakurria}} = \frac{R_0}{D_{\text{berria}}} - R_0 = R_0 \left[\frac{1}{D_{\text{berria}}} - 1 \right] \text{ (betikoa)}$$

Irakurtzen dugun balioa egiazkoa baino handiagoa da.

$$R_{\text{neurtua}} = R_{x\text{ eskalan}} = \frac{R_0}{\frac{V_0'}{V_0} \frac{R_0}{R_0 + R_x}} - R_0 = (R_0 + R_x) \frac{V_0}{V_0'} - R_0$$

$$R_{\text{neurtua}} = R_0 \cdot \left(\frac{V_0}{V_0'} - 1 \right) + R_x \frac{V_0}{V_0'} \Rightarrow R_{\text{neurtua}} = R_x \frac{V_0}{V_0'} + R_0 \cdot \frac{V_0 - V_0'}{V_0'}$$

$R_{\text{neurtua}} > R_x$ (noski, bateria zahartuak deflexio txikiagoa eragiten du beti)

Bateriaren zahartzeak dakarren errorea saihesten.

Errore hori hein batean saihesteko, ohmetro bezala lan egiten duen galbanometroaren barneko erresistentzia (R_0) aldatzea izaten da.

Kanpoko erresistentzia neurtzen hasi baino lehenago, gehienezko deflexioa lortu arte doitzen dugu (R_0 aldatzen dugu $D = 1$ lortu arte). $R_0' = V_0' / I_{\text{fe}}$.

$$D = \frac{\left(\frac{V_0'}{V_0} \right) \cdot R_0}{R_0' + R_x} \Rightarrow R_{\text{irakurria}} = R_0 \cdot \left(\frac{R_0' + R_x}{\left(\frac{V_0'}{V_0} \right) \cdot R_0} - 1 \right) = R_x \cdot \frac{V_0}{V_0'}$$

Hortaz, $R_x = 0$ eta $R_x = \infty$ kasuak errorerik gabe neurtuko dira.

Beste kasuetan, oraindik errore bat dago, baina txikiagoa. Errorea onargarria izango da R_0' eta R_0 ez ba dira oso ezberdinak izaten (hau da, $V_0' \sim V_0$ bada: bateria gehiegi zahartu ez bada).

Ariketa: Jatorriz $V_0 = 10$ V eta $R_0 = 10$ k Ω balioez eraikitako ohmetroa dugu. Kalkulatu zein den neurtzen dugun balioa $R_x = 10$ k Ω neurtzerakoan:

- Bateria $V_0' = 9$ V baliora zahartzen bada eta R_0 doitzen ez badugu
- Bateria $V_0' = 9$ V baliora zahartzen bada eta R_0 doitzen badugu
- Bateria $V_0' = 1$ V baliora zahartzen bada eta R_0 doitzen badugu

[Emaitzak: a) 12.2 k Ω b) 11.1 k Ω c) 100 k Ω \rightarrow bateria aldatu beharko genuke].

Ikusi dugun ohmetroaz, bateria zahartzen denean, errore handiak gertatzen dira. Hori dela eta, beste diseinu hau erabili ohi da (R_{in} doigarriarekin): seriean voltmetro bat erabiltzen duen ohmetroa (ikusi eranskina).

6.3 Erresistentzia neurtzean agertzen diren beste errore batzuk

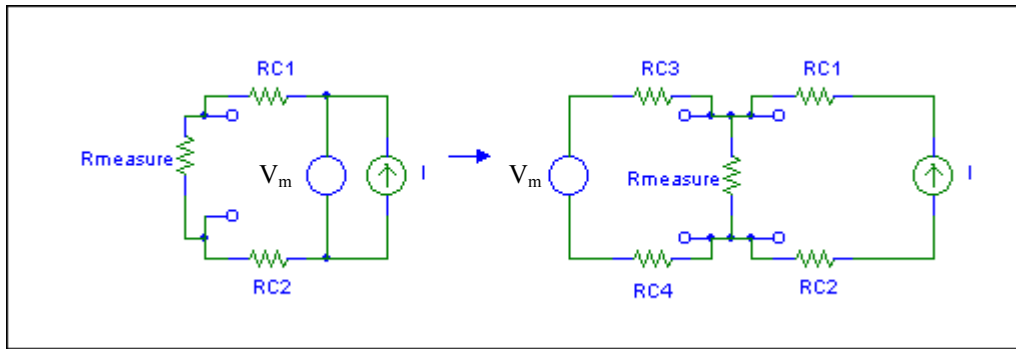
Balio altuko erresistentziak neurtzean:

Korrante-ihesak ager daitezke (adibidez: 1 M Ω -eko erresistentzia bat eskuez eusten neurtzen badugu, balio txikiagoa lortzen dugu, geu paraleloan gaude eta). Horregatik, erresistentziak neurtzeko gainazal isolatzaile garbi eta lehorrak erabiltzea gomendatzen da (zikinkeriak eta hezetasunak eroapena errazten baitute).

Ukipen zaileko materialen erresistentzia neurtzean: (adibidez, erdieroale lagin baten erresistentzia neurtzean).

Sistema tipiko batez, materialaren erresistentziaz gain, zunda eta materialaren arteko ukipeneko erresistentzia agertuko litzateke. Hurrengo orrialdeko irudian argi dagoenez, bi puntako sistemaz (ezkerrean) $V_m/I = R_{C1} + R_{C2} + R_{measure}$ neurtuko genuke.

Irtenbidea, neurketa lau puntarekin egitea da (eskuinean). Voltmetroak oso korrante txikia behar duenez, R_{C3} eta R_{C4} erresistentzietan agertzen diren tentsioak arbuigarriak dira eta neurtzen den tentsioa $V_m = I \times R_{measure}$ da.



3.21 Irudia. Erresistentzia lau puntarekin neurtzen

Oso balio txikiko erresistentziak neurtzean:

Kasu honetan, berriro, ukipenak eta zunden erresistentziak garrantzitsu bihurtzen dira eta, beraz, lau puntako sistema hobesten da. Gainera, polimetro batzuetan, zunden erresistentzia neurketatik ezabatzeko zeroa doitu daiteke.

Potentziaren barreiapena:

Neurtzean erabiltzen den korronteak ($1\mu\text{A}$ - 1mA), erresistentzian potentzia bat barreiatzea suposatzen du. Erresistentziak tenperatura-koefiziente altua badu (NTC eta PTC erresistentziak kasu) lorturiko balioa ez da inguruko tenperaturari legokiokeena.

7. SEINALE ALTERNOENTZAKO VOLTIMETROA

7.1 Alternoko voltimetro analogikoa

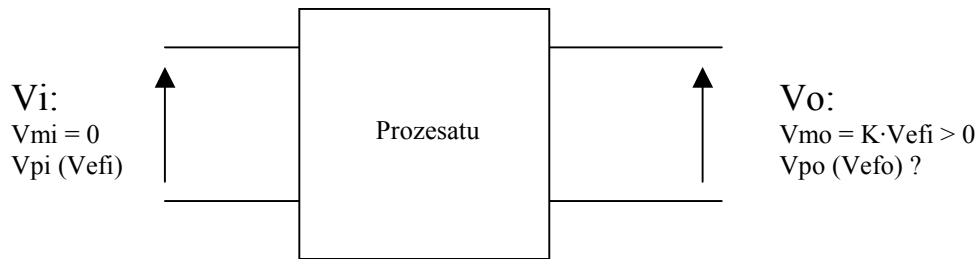
7.1.1 Jarraituko polimetroa seinale alternoak aplikatzean

Orain arte, seinaleak jarraituak zirela suposatu dugu eta, beraz, galbanometroan eragiten zuten biraketa-angelua finkoa zen.

Zer gertatzen da galbanometroan aplikatzen diren seinaleak alternoak direnean?

1. Oso maiztasun baxuko seinaleekin ($f < 10 \text{ Hz}$), orratzak aldiuneko balioa adierazten du.
2. Maiztasun ertain edo altuetan, orratzak ezin dio une bakoitzeko balioari jarraitu eta batezbesteko balioa adierazten du:
 - Seinale alterno garbietan: $I_m = 0$: orratza ez da mugitzen.
 - Seinalea alternoa + osagai jarraitua duenean: $I_m = I_{cc}$. Orratzak, osagai jarraituaren balioa adierazten du.

Galbanometroak seinalearen batezbesteko balioa neurtuko duenez, seinalea eraldatu behar dugu (zirkuituan duen balioari eragin gabe), eta bere puntako balioarekin edo bere balio eraginkorarekin erlazionaturik egongo den osagai jarraitu bat izango duen seinale bat lortu / sortu behar dugu: $V_{m\ out\ (irteeran)} = k \times V_{p\ in\ (sarreran)}$

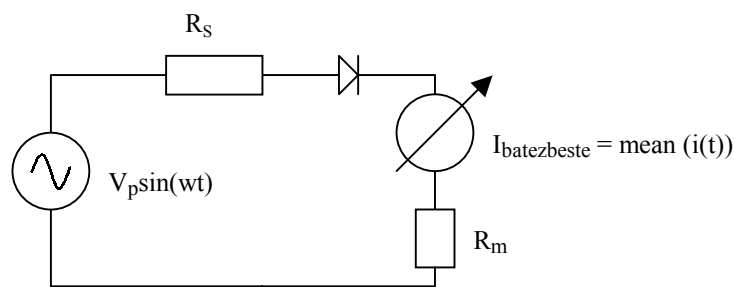


3.22 Irudia. Balio efikazak galbanometro batez neurtzeko seinalearen prozesua

Prozesatzeko, zirkuitu zuzentzaileak erabili ohi dira.

7.1.2 Alternoko voltimetroa uhin erdiko zuzentzaileaz

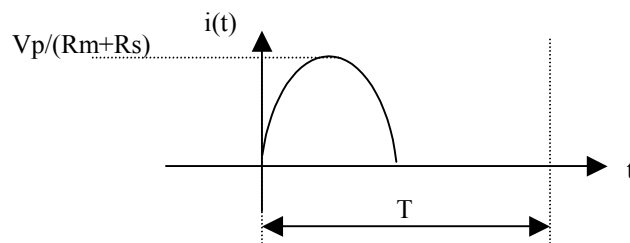
Demagun seinalea sinusoidal del (alterno purua)



3.23 Irudia. Uhin erdiko zuzentzailea darabilen alternoko voltimetroa

$$i(t) = V_p / (R_s + R_m) \times \sin(wt) \quad (0 < wt < \pi)$$

$$i(t) = 0 \quad (\pi < wt < 2\pi)$$



3.24 Irudia. Galbanometrotik pasatzen den korronea

Jarraitua izan balitz, $I_{batezbeste} = V_p / (R_m + R_s)$ neurtuko genukeen.

$$I_{batezbeste} = mean(i(t)) = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \left(\int_0^{T/2} \sin(\omega t) \cdot dt + \int_{T/2}^T 0 \cdot dt \right) \right]$$

$$I_{bb} = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{T} \cdot \int_0^{T/2} \sin(\omega t) \cdot dt = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{T} \cdot \left[-\frac{\cos(\omega t)}{\omega} \right]_0^{T/2}$$

$$I_{bb} = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{T} \cdot \left[-\frac{\cos(\omega T/2)}{\omega} + \frac{\cos(0)}{\omega} \right] = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{\omega T} \cdot [1 - \cos(2\pi/2)]$$

$$I_{bb} = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot [1 + 1] \Rightarrow I_{batezbeste} = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{\pi} = \frac{I_{pgalban}}{\pi}$$

$$D = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{1}{\pi \cdot I_{fe}} = \frac{V_{ef}}{R_m + R_s} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\pi \cdot I_{fe}} \Rightarrow V_{ef} = D \cdot [(R_m + R_s) \cdot I_{fe}] \cdot \frac{\pi}{\sqrt{2}}$$

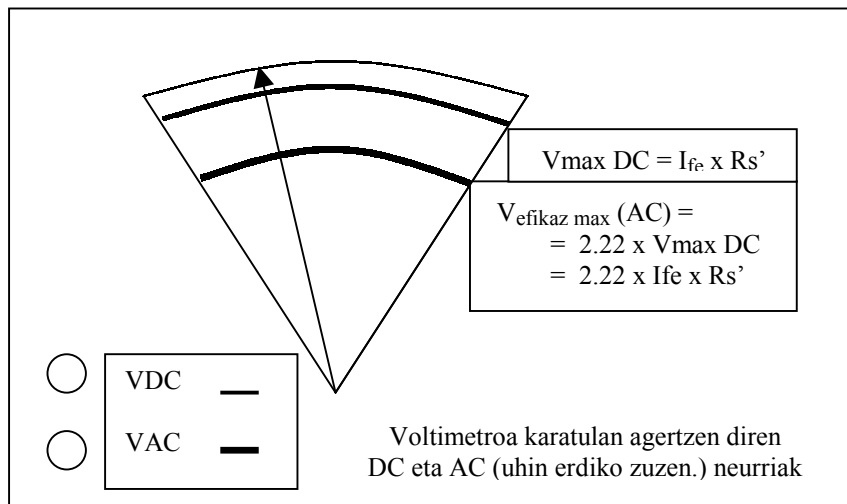
Beraz, puntako balioa neurtu beharrean, I_p/π (edo $\sqrt{2} \times I_{efikaza}/\pi$) neurtzen dugu (hori da bobinatik pasatzen den korrantearen batezbestekoa eta beraz $D = I_{bb}/I_{fe}$ galbanometroa).

Hau da, $\sqrt{2} \times I_{efikaza}/\pi$ neurtzen dugu: $I_{batezbeste} = 0.45 I_{efikaza}$; $I_{efikaza} = 2.22 \times I_{bb}$ **seinalea sinusoidal purua denean.**

$$I_{efikaza} = 2.22 \times D \times I_{fejarraituan};$$

$$V_{efikaza} = 2.22 \times D \times I_{fe} \times (R_s + R_m) = 2.22 \times D \times V_{fejarraituan}$$

$$(V_{fe} \text{ alternoan} = 2.22 \times V_{fejarraituan})$$



3.25 Irudia. DC eta AC eskalak agerian dituen uhin erdiko voltmetroaren karatula

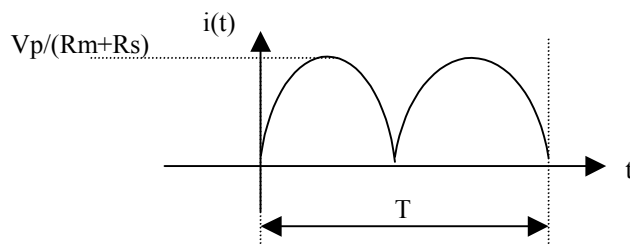
Seinaleak beste forma bat duenean, kalkulu guztiak berregin behar dira, neurtutako balioa puntako balioarekin edo balio eraginkorarekin erlazionatzeko.

Gehienez, $I_{batezbesteko} = I_{fe}$ eta beraz:

$$\sqrt{2} \times I_{ef \text{ maximoa}} / \pi = I_{fe} \rightarrow I_{ef \text{ maximoa}} = \pi / \sqrt{2} \times I_{fe} = 2.22 I_{fe}$$

7.1.3 Alternoko voltmetroa uhin osoko zuzentzaileaz

Demagun seinale sinusoidal (alterno purua) osorik zuzentzen dugula:



3.26 Irudia. Galbanometrotik pasatzen den korronea

$$i(t) = V_p / (R_s + R_m) \times \sin(\omega t) \quad (0 < \omega t < \pi)$$

$$i(t) = -V_p / (R_s + R_m) \times \sin(\omega t) \quad (\pi < \omega t < 2\pi)$$

$$I_{batezbeste} = \text{mean}(i(t)) = \frac{V_0}{R_m + R_s} \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \left(\int_0^{T/2} \sin(\omega t) \cdot dt + \int_{T/2}^T -\sin(\omega t) \cdot dt \right) \right]$$

$$I_{bb} = \frac{V_0}{R_m + R_s} \cdot \frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} \sin(\omega t) \cdot dt = I_{bb} = \frac{V_0}{R_m + R_s} \cdot \frac{2}{2\pi} \cdot [1 + 1] \Rightarrow$$

$$I_{batezbestekoa} = \frac{V_0}{R_m + R_s} \cdot \frac{2}{\pi} = \frac{2I_{pgalban}}{\pi}$$

$$D = \frac{I_{batezbeste}}{I_{fe}} = \frac{V_p}{R_m + R_s} \cdot \frac{2}{\pi \cdot I_{fe}}$$

$$V_p = D \cdot [(R_m + R_s) \cdot I_{fe}] \cdot \frac{\pi}{2}$$

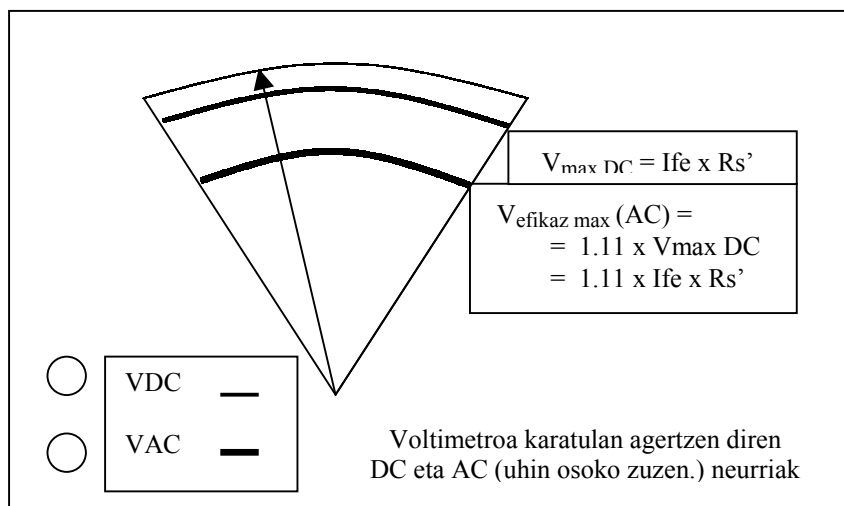
$$V_{ef} = D \cdot [(R_m + R_s) \cdot I_{fe}] \cdot \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$$

Beraz, puntako balioa neurtu beharrean, $2I_p/\pi$ neurtzen dugu (hau da, $2\sqrt{2} I_{ef}/\pi$ neurtzen dugu: $I_{neurtu} = 0.9 I_{ef}$, $I_{ef} = 1.11 \times I_{jarraitua}$) seinalea sinusoidal purua denean.

[Seinaleak beste forma bat duenean, kalkulu guztiak berregin behar dira, neurtutako balioa puntako balioarekin edo balio eraginkorarekin erlazionatzeko].

Gehienez, $I_{neurtu} = I_{fe}$ eta beraz:

$$2\sqrt{2} \times I_{ef\ maximoa} / \pi = I_{fe} \rightarrow I_{ef\ maximoa} = \pi / 2\sqrt{2} \times I_{fe} = 1.11 I_{fe}$$



3.27 Irudia. DC eta AC eskalak agerian dituen uhin osoko voltmetroaren karatula (R_s' = R_s + R_M)

7.1.4 Sentikortasuna alfernoan

Jarraituan:

$$S_{CC} = \frac{1}{I_{fe}} = \frac{R_{in}}{V_{fe}} \frac{K\Omega}{V}$$

Alfernoan, analogiaz:

$$S_{AC} = \frac{R_{in}}{V_{ef\ fe}} \frac{K\Omega}{V_{ef}}$$

Uhin erdiko zuzentzailea erabiltzen duen voltmetroan:

$$S_{AC} = \frac{R_{in}}{V_{ef\ fe}} \frac{K\Omega}{V_{ef}} = \frac{R_{in}}{2.22 \cdot V_{fe}} \frac{K\Omega}{V} = \frac{S_{CC}}{2.22} = 0.45 \cdot S_{CC}$$

Uhin osoko zuzentzailea erabiltzen duen voltmetroan:

$$S_{AC} = \frac{R_{in}}{V_{ef\ fe}} \frac{K\Omega}{V_{ef}} = \frac{R_{in}}{1.11 \cdot V_{fe}} \frac{K\Omega}{V} = \frac{S_{CC}}{1.11} = 0.9 \cdot S_{CC}$$

Voltmetro baten alfernoko sentikortasuna jarraituko sentikortasuna baino txikiagoa da, batez ere, uhin erdiko zuzentzailea erabiltzen dutenetan.

7.1.5 Alterno garbi sinusoidalak ez diren seinaleen balio eraginkorrak neurtzen

Kasu bakoitzeko, eskala berri bat (erlazio berri bat) bilatu behar da.

Adibidez, alterno purua den seinale hiruki batekin (uhin osoko zuzentzaileaz):

$$V_{\text{mean zuzendu ondoren}} = V_p/2 = V_{\text{agerikoa jarraituko eskalan}}$$

$$V_{\text{ef}} = V_p / \sqrt{3}$$

Beraz, zuzendu ondoren, balio eraginkorra jarraituko eskalan agertzen dena $\times 2/\sqrt{3}$ izango litzateke. $V_{\text{ef}} = 2/\sqrt{3} \times V_{\text{agerikoa jarraituko eskalan}}$

Eta alternoko eskalako balioa (sinusoidal batentzat kalkulaturik dagoena - uhin osoko zuzentzaile batean-) abiapuntutzat hartzen badugu: $V_{\text{agerikoa sinusoidalaren eskalan}} = 1.11 \times V_{\text{mean}}$ eta guk $2/\sqrt{3} \times V_{\text{mean}}$ bilatzen dugu. Beraz, $V_{\text{ef}} = 2/\sqrt{3} \times V_{\text{mean}} = 2/\sqrt{3} \times V_{\text{agerikoa sinusoidalaren eskalan}} / 1.11 = 1.28 \times V_{\text{sinusoidalaren eskalan}}$

7.2 Alternoko voltmetro digitala

Multimetro analogikoetan ez bezala, digitalek –prozesatze digitalaren abantailak profitatzen- osagai alternoen balio efikaz erreala neurtzeko sistemak izaten dituzte (osagai jarraitua kondentsadore batez ezabatzen da).

Laginketaren jarraitasun eza dela eta, seinalearen formari buruzko informazioa gal daiteke eta, ondorioz, balio okerrak irakur daitezke (batez ere maiztasun altuetan eta gandar-faktore ($V_p^{0.5}/V_{\text{ef}}$) altuko seinaleekin).

