

1.) Merski sistemi, merske enote :

- Mednarodni sistem merskih enot, skupine enot, povezava med skupinami,
- Zakon o meroslovju in njegova določila o uporabi merskih enot

a.) Mednarodni sistem merskih enot, skupine enot, povezava med skupinami;

Veljajo določeni zakoni o meroslovju in odredbe o merskih enotah. Podrobnejša obravnava je v standardu sist. ISO 31. Veličine in enote v elektriki in magnetizmu so v sist. ISO 31-5!

Skupine enot:

- Enote mednarodnega sistema enot:
 - a.) Osnovne enote SI (m, kg, s, A, K, cd, mol)
 - b.) Izpeljane iz osnovnih (W, V, Ω , Hz, H, ...)
- Enote, ki so določene na podlagi enot SI in niso dekadne, delilne ali množilne enote le teh (min., kotna stopinja, ...)
- Enote določene neodvisno od sedmih osnovnih enot SI (enote atomske mase, elektronvolt, ...)
- Enote in imena enot, ki so dovoljene samo v določenih področjih (morska milja, voz, ...)

b.) Zakonski in podzakonski akti, ki urejajo področje meroslovja v RS:

- Zakon o meroslovju
- Odredba o merskih enotah
- Odredba o nacionalnih etalonih
- Odredba o rokih v katerih se vedno overjajo etaloni in merila
- Odredba o vrstah meril za katere so obvezne odobritve tipa in overitve
- Navodila o postopku odobritve tipa meril
- Odredbe o vrstah in oblikah oznak, ki se uporabljajo pri overitvah meril

2.) Etaloni v merilni tehniki:

- Namen uporabe etalonov
- Hierarhija etalonov
- Etalon napetosti, Westonov in Josephsonov, opis in primerjava lastnosti

a.) Namen uporabe etalonov:

Etalon je opredmetena mera, merilni instrument, referenčni material ali merski sistem, katerega namen je da definira, realizira, ohranja ali reproducira neko enoto ali eno ali več vrednosti veličine, tako dasluži kot referenca.

b.) Hierarhija etalonov:

- Mednarodni, nacionalni etalon;
- Primarni, sekundarni, referenčni, delovni, posredniški, prenosni etalon;
- Etalon napetosti: • Westonov etalon;
• Josephsonov etalon;
- Etalon upornosti: • etalonski upor;
• kvantni Hallov upor;
- Etalon kapacitivnosti: • Thompson-Lampardov etalon;

- ploščni kondenzator;
- Etalon induktivnosti:
 - enoslojna navita tuljava;
 - večslojno navita tuljava;

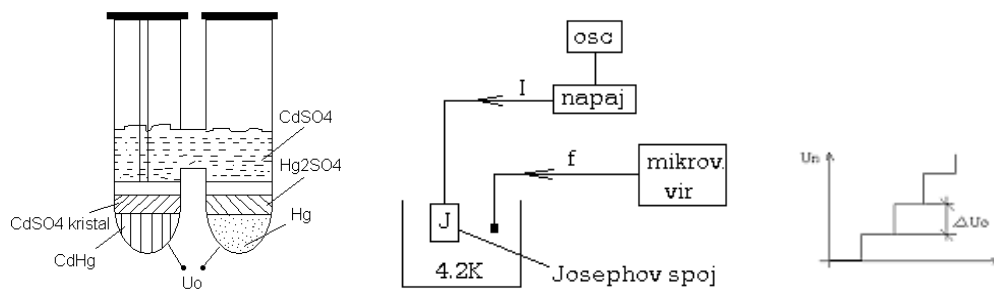
c.) Westonov etalon:

- sekundarni etalon

Galvanski člen z nasičeno raztopino kadmijevega sulfata ($U=1,01865$ V pri $T=20^{\circ}\text{C}$)

Natančnost $\pm 10^{-9}$

Josephov etalon: tale je natančnejša



$$\Delta U_0 = \frac{h \cdot f}{2 \cdot e}$$

$$Un = n \cdot U_0$$

hplanckova konst. $6,62 \cdot 10^{-34}$

f ...frekvenca

n ...št. stopnic

Natančnost $\pm 10^{-9}$

3.) Etaloni v merilni tehniki:

- Uporaba etalonov v meroslovju,
- Vrste etalonov (hierarhija)
- Etalon upornosti, izvedba in uporaba
- Hallov etalon upornosti

a.) Etalone uporabljamo v meroslovju za definiranje, realizacijo, ohranjanje ali produciranje neke enote za eno ali več vrednosti veličin, tako da služi kot referenca.

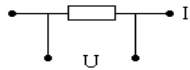
b.)

- Primarni (ne uporabljamo za neposredno merjenje veličin, temveč za prenos veličin na sekundarne etaloni);
- Sekundarni (izjemoma se uporablja za neposredno merjenje veličin ali kontrolo meril);
- Delovni (katerih merilna negotovost je še večja, zato pa so bolj prilagojeni za praktično uporabo v laboratoriju);

c.) Etalon upornosti:

Je upor narejen iz materiala, ki se mu z temperaturo upornost zelo malo spreminja. Manjše vrednosti so narejene iz ploščic z dvojnimi ožičjem (napetostno in tokovno).

Natančnost $\pm 10^{-4}$ do $\pm 10^{-5}$

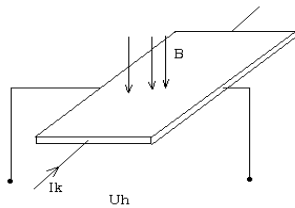


Večje vrednosti pa so naviti upori (vrednost od 10^{-5} do $10^5 \Omega$)!



d.) Hallov etalon upornosti:

Je polprevodnik, njegova točnost je $\pm 10^{-8}$



$$U_H = k \cdot \frac{B \cdot I}{\alpha} = k \cdot I$$

$$R_H = \frac{U_H}{I_K}$$

Ploščice postavimo v mag. polje, skozi ploščice spustimo nek tok, na drugi strani dobimo napetost U_H !

4.) Pogreški pri merjenjih:

- Definicija pogreška, absolutni in relativni pogrešek
- Vrste pogreškov glede na nači in mesto pojavljanja
- Grafični prikaz sistematskih pogreškov

Zaradi različnih vplivov nikoli ne dobimo prave vrednosti. Pogrešek je razlika izmerjene in prave vrednosti.

ABSOLUTNI POGREŠEK: $E = x_{izm} - x_{pr}$

RELATIVNI POGREŠEK: $e = \frac{x_{izm} - x_{pr}}{x_{pr}} = \frac{E}{x_{pr}} \cdot 100\%$

Glede na način in mesto pojavljanja delimo pogrešek na:

- SISTEMATSKE, ves čas meritve enak in ga lahko izločimo;
- NAKLJUČNI, pojavijo se pri vsaki meritvi in jih ne moremo izločiti, vrednost in predznak nista definirani, vzroka pa ne poznamo;

Mesto pojavljanja pogreška:

- Merilni instrument (naprava);
- Merilno vezje ali metoda;
- Merilec (človek);
- Vplivna veličina (temp., mag. polje,);

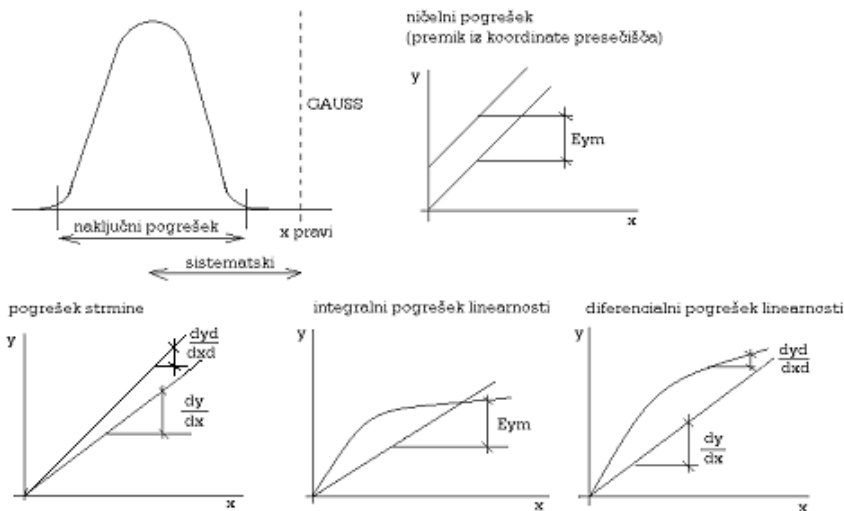
Grafični prikaz sistematskih pogreškov:

Srednja vrednost:

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

Odmik:

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



5.) Razred merilnega instrumenta:

- Definicija razreda in določanje merilne negotovosti pri analognih merilnih instrumentih
- Določanje merilne negotovosti pri digitalnih merilnih instrumentih

a.) Razred točnosti pomeni, da če instrument uporabljamo v mejah merilnega območja in pod referenčnimi pogoji, sme imeti brezhibni instrument pogrešek, ki ne preseže vrednosti določene z njegovim razredom.

- Absolutna merilna negotovost

$$E_m = \pm \frac{r}{100} \cdot x_m$$

x_mmerilni doseg α_{max}

rrazred instrumenta

- Relativna merilna negotovost

$$e_m = \pm \frac{E_m}{x_{izm}} \cdot \frac{x_m}{x_{izm}}$$

x_{izm}izmerjena vrednost

- Če je negotovost izračunana za vsako izmerjeno vrednost

$$e_m = \pm \frac{r}{100} \quad E_m = \pm \frac{r}{100} \cdot x_{izm}$$

b.)

Za digitalne merilne instrumente proizvajalec običajno navede merilno negotovost, sestavljeno iz dveh delov. Prvi del se nanaša na izmerjeno vrednost x_{izm} , drugi pa se nanaša na merilni doseg x_m .

$$E_m = \pm(0,05\% \cdot x_{izm} + 0,02\% \cdot x_m)$$

0,02%.....podano v tabeli za instrumente

$$e_m = \pm \frac{E_m}{x_{izm}}$$

Včasih proizvajalec poda negotovost v obliki digitov

$$E_m = \pm(0,05\% \cdot x_{izm} + 2d)$$

$$e_m = \pm \frac{E_m}{x_{izm}}$$

DIGIT: [d] je vrednost merjene veličine, ki ustreza najmanjšemu decimalnemu mestu na instrumentu oz. njegovi ločljivosti.!!!!!!!!!

6.) Večkratno merjenje in statistična obdelava:

- Iračun statični parametrov (sr. vrednost, eksp. st. odmik)
- Določanje meja in območja zaupanja
- Končni zapis merilnega rezultata z relativno mejo zaupanja (z merilno negotovostjo)

a.) Srednja vrednost:

Potrebno je določiti sr. vrednost upornosti velike serije uporov. Natančno vendar zamudno je merjenje vseh uporov iz serije in izračun sr. vrednosti.

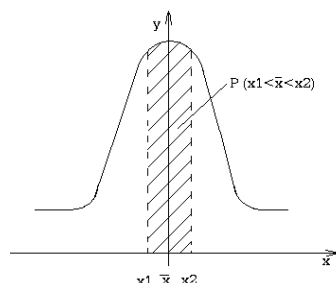
$$\bar{R} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M R_i$$

V praksi se poslužujemo statične metode s katero ocenimo \bar{R} na osnovi manjšega števila merilnih uporov.

Standardni eksperimentalni odmik:

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

b.) Meje in območja zaupanja lahko določimo iz histograma. Bolj kot želimo imeti natančen rezultat, manjšo mejo zaupanja vzamemo. Statična verjetnost je procentualna vrednosti, ki pove s kakšno verjetnostjo se bo nahajala sr. vrednost znotraj meje zaupanja. Ko poznamo statično verjetnost lahko izračunamo področje zaupanja



c.)

$$x = \bar{x} \cdot (1 \pm s) \quad E = \pm \frac{k \cdot S}{\sqrt{n}}$$

$$R = \bar{R} \cdot (1 \pm e) \quad e = \pm \frac{k \cdot S}{\sqrt{n} \cdot R}$$

7.) Določanje merilne negotovosti pri posrednih merjenjih:

- Pojem posredne meritve oz. merilnega rezultata
- Izpeljava izrazov za relativno negotovost pri osnovnih računskih operacijah
- Kritični primeri velike negotovosti

a.)

Če npr. računamo neznanu upornost R iz razmerja napetosti in toka $R = \frac{U}{I}$ je posredno merjena veličina-upornost funkcija dveh neposredno merjenih veličin.

$$E_y = \pm \left(\left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot E_{x_1} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot E_{x_2} \right| + \dots \right)$$

Seštevanje:

$$y = x_1 + x_2$$

$$E_Y = \pm (|1 \cdot E_1| + |1 \cdot E_2|) = \pm (|E_1| + |E_2|)$$

$$e_Y = \pm \frac{E_Y}{y} = \pm \frac{|E_1| + |E_2|}{x_1 + x_2} = \pm \frac{|x_1 \cdot e_1| + |x_2 \cdot e_2|}{x_1 + x_2}$$

$$e_Y = \pm \frac{|e_{x_1}| \cdot x_1 + |e_{x_2}| \cdot x_2}{x_1 + x_2}$$

Odštevanje:

$$y = x_1 - x_2$$

$$E_Y = \pm (|E_1| + |E_2|)$$

$$e_Y = \pm \frac{E_Y}{y} = \pm \frac{|E_1| + |E_2|}{x_1 - x_2} = \pm \frac{|x_1 \cdot e_1| + |x_2 \cdot e_2|}{x_1 - x_2}$$

$$e_Y = \pm \frac{|e_{x_1}| \cdot x_1 + |e_{x_2}| \cdot x_2}{x_1 - x_2}$$

Množenje:

$$y = x_1 \cdot x_2$$

$$E_Y = \pm (|x_2 \cdot E_1| + |x_1 \cdot E_2|)$$

$$e_Y = \pm \frac{|x_2 \cdot E_1| + |x_1 \cdot E_2|}{x_1 \cdot x_2} = \pm \frac{|x_2 \cdot x_1 \cdot e_1| + |x_1 \cdot x_2 \cdot e_2|}{x_1 \cdot x_2}$$

$$e_Y = \pm (|e_1| + |e_2|)$$

Deljenje:

$$y = \frac{x_1}{x_2}$$

$$E_Y = \pm \left(\left| \frac{E_1}{x_2} \right| + \left| \frac{x_1 \cdot E_2}{x_2^2} \right| \right)$$

$$e_Y = \pm \frac{\left| \frac{E_1}{x_2} \right| + \left| \frac{x_1 \cdot E_2}{x_2^2} \right|}{\frac{x_1}{x_2}} = \pm (|e_1| + |e_2|)$$

Potenciranje:

$$y = x^n$$

$$E_Y = \pm (|n \cdot x^{n-1} \cdot E_X|)$$

$$e_Y = \pm \frac{|n \cdot x^{n-1} \cdot E_X|}{x^n}$$

$$e_Y = \pm |n \cdot e_X|$$

Do velikih negotovosti lahko pride zaradi slabih instrumentov, nenatančnega odštevanja, nenatančnega računanja, zaokroževanje.....

Statična merilna negotovost je manjša od največje možne, verjetnost da leži prava vrednost izkane veličine znotraj te meje je manjša od verjetnosti pri največji možni negotovosti.

Dobimo jo z izrazom:

$$E_y' = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot E_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot E_{x_2}\right)^2 + \dots}$$

8.) Referenčni pogoji pri merjenjih:

- Vplivne veličine in njihovi vplivi na merilne rezultate
- Način upoštevanja vpliva vplivnih veličin pri podajanju merilnih rezultatov

Referenčni pogoji delovanja instrumenta so zagotovljeni takrat, kadar instrument ni izpostavljen zunanjim vplivom, ki bi lahko vplivali na kazanje instrumenta.

a.) Z reverzibilnim delovanjem:

- Temperatura (okolice);
- Napajalna napetost;
- Zunanja el. in mag. polja;
- Vlažnost in zračni tlak;
- Vpliv lastnega gretja;
- Lega instrumenta;
- Material ohišja (npr. kovina);
- Pospeški, vibracije;

Z ireverzibilnim delovanjem:

- Čas (staranje);
- Preobremenitev na vhodu oz. izhodu;
- Pregretje;

b.)

Referenčne vrednosti vpliva vplivnih veličin so vrednosti, pri katerih mora ustrezati pogojem glede pogreškov. Ker je težko vedno zadovoljiti referenčne vrednosti, lahko proizvajalec izdelava instrument, ki je manj občutljiv na neko vplivno veličino in po tem poda neko referenčno območje.

9.) Statične in dinamične lastnosti analognih merilnih instrumentov:

- Splošna ravnotežna momentna in odklonska enačba
- Dinamične lastnosti glede na stopnjo dušenja s, grafični prikaz

a.) Splošna ravnotežna in momentna enačba:

Moment: $M_1 = \frac{dW}{d\alpha} = f(x, \alpha)$; moment je sprememba energije po spremembi odklona.

Protimoment: $M_2 = -D \cdot \alpha$ je product specifičnega protimomenta in velikost odklona (D=konst. vzmeti)

Sistem se umiri ko velja $M_1 + M_2 = 0$

Momentna enačba $f(x, \alpha) - D \cdot \alpha = 0$

Odklonska enačba $\alpha = \frac{f(x, \alpha)}{D} = \frac{f(x)}{D}$

b.) Dinamične:

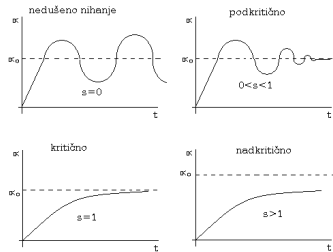
Dušilni moment $M_3 = -P \cdot \frac{d\alpha}{dt}$; P-fakt. dušenja

Vztrajnostni moment $M_4 = -J \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2}$

Sistem se umiri ko velja $M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 0$

Ravnotežna enačba: $J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + P \frac{d\alpha}{dt} + D \cdot \alpha = \frac{\partial W}{\partial \alpha}$

Stopnja dušenja: $s = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{D \cdot J}}$; (P-fakt. dušenja; D-konst. vzmeti; J-vztrajnostni moment)

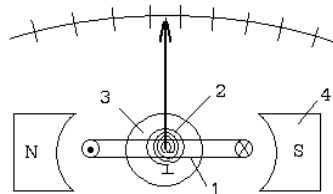


10.) Instrument z vrtljivo tuljavo:

- Osnovna izvedba, lastnosti in uporaba
- Razširjanje napetostnega in tokovnega merilnega območja

a.)

- 1.) vrtljiva tulavica;
- 2.) vzmet;
- 3.) jedro (mehko železo);
- 4.) trajni magnet



Osnovo instrumenta predstavlja dva trajna magneti z odprtino katerega je nameščeno mehkomagnetno jedro u Al-ohišjem in tuljavico. Tok dovajamo preko spiralne vzmeti, ki hkrati ustvarja protimoment. Odklon je sorazmeren merjenemu toku skozi tuljavico, saj so gostota in dimenzije tuljave nespremenjene. $\alpha = k \cdot I = B \cdot d \cdot l \cdot N \cdot I$

Lastnosti:

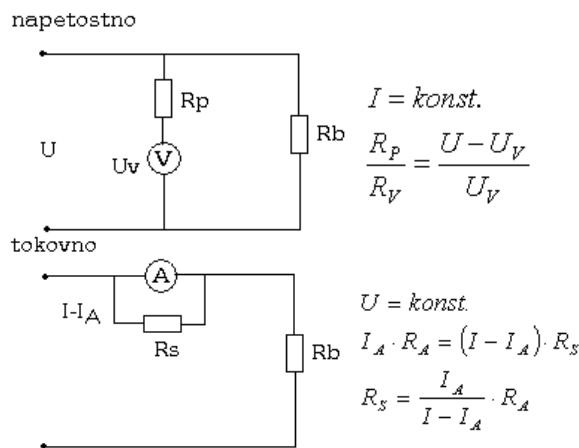
- mala lastna poraba;

- velika tokovna občutljivost;
- linearna skala;
- velik merilni razpon;
- nizka cena;
- dobra odpornost na preobremenitve;
- dobro odporen na tuje mag. polje;

Uporaba:

- za merjenje enosmernih veličin, za direktno merjenje kot A-meter ali V-meter; za merjenje izmeničnih veličin moramo imeti usmernik;

b.) Razširitev merilnega območja:



Za razširjanje merilnega območja uporabimo merilni transformator, če merimo izmenične veličine. Za razširjanje merilnega območja pri enosmernih veličinah pa uporabimo predupore ali soupore, odvisno, kaj merimo. Ko merimo tok, damo zraven soupor, za merjenje napetosti pa predupor. Z nič upori dobimo več merilnih območji. Pri običajni izvedbi lahko rečemo, da instrument reagira le na enosmerne komponente toka. Odklon kazalca je sorazmeren asimetrični srednji vrednosti merjenega toka.

11.) Instrument z vrtljivo tuljavico:

- Galvanometer, izvedba, lastnosti, uporaba
- Instrument s polprevodniškim usmernikom, izvedba, lastnosti, uporaba

a.) Z galvanometrom lahko merimo zelo šibek enosmerni tok in napetost (enosmerno).

Uporaba:

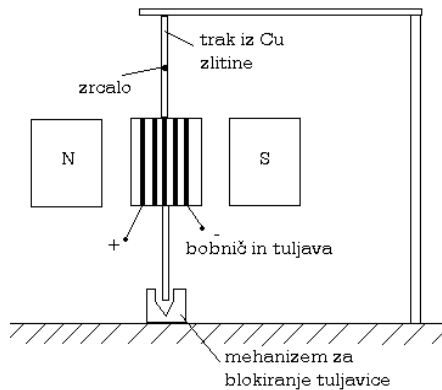
Posebno merjenje notranje upornosti, površinsko upornost ali pri merjenju termoelektričnih napetosti. Včasih ga uporabljamo tudi kot ničelni indikator.

Lastnosti:

Zgrajen je tako, da ima visoko tokovno in napetostno občutljivost, ima svetlobni kazalec namesto mehanskega. Tokovno občutljivost povečamo z zvišanjem ovojev tuljave, medtem ko je napetostna občutljivost obratno sorazmerna s številom ovojev.

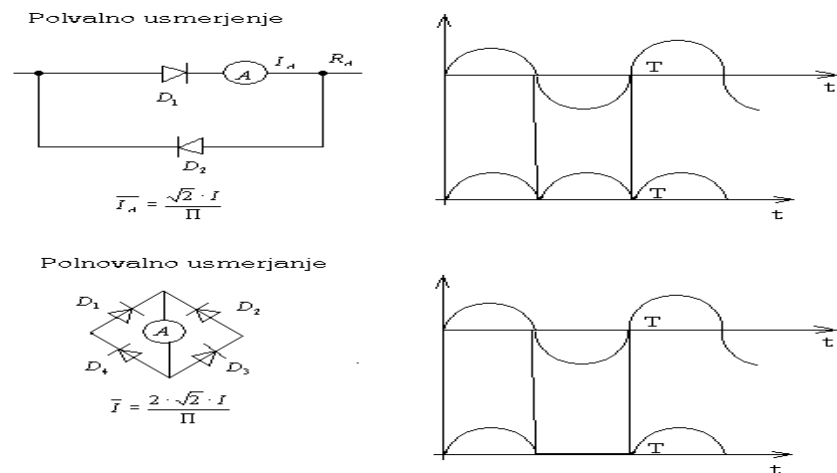
Izvedbe:

- Balistični galvanometer: z njim merimo tokovne oz. napetostne sunke, ki tvorijo krajši čas od nihajnega;
- Fluksmeter: je galvanometer, ki praktično noma protimomenta. Uporabljamo ga za merjenje tokovnih in napetostnih sunkov (ni nujno da so kratki kot bri Balističnem).



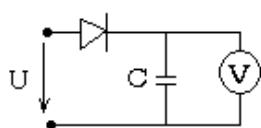
Protimoment nam predstavlja trak. Ker sta bobnič in tuljavica obešena na kovinski trak, odpade trenje v ležajih.

b.) Z tem instrumentom lahko merimo tudi izmenični tok.



Skalo instrumenta moramo prilagoditi. Vrednosti na skali morajo biti 1,11 krat večje, kot pri merjenju enosmernega toka, saj je efektivna vrednost toka 1,11 krat večja od usmerjene vrednosti. Če z instrumentom merimo napetost, je skala tem bolj linearna, čim večja je notranja upornost instrumenta. Tedaj je napetost na diodi vse manjša

V-meter



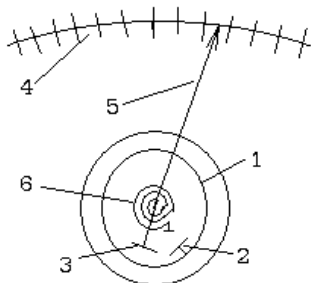
Uporabljamo ga lahko tudi v višjem frekv. območju, odvisno od kvalitete diode.

12.) Instrument z vrtljivim mehkim železom:

- Izvedba
- Ravnotežna in odklonska enačba
- Lastnosti in uporaba

a.) Obstaja več izvedb, vendar se izključno uporablja kot instrument z okroglo tuljavo in krožno zavitim lističema iz mehkomagnetnega materiala.

- 1.) okrogla tuljava;
- 2.) nepremični Fe listič;
- 3.) gibljivi Fe listič;
- 4.) skala;
- 5.) kazalec;
- 6.) vzmet;



Vrtljni moment nastane zaradi sile mag. polja na listič. Moment je odvisen od kvadrata trenutne vrednosti toka. Zaradi tega je precej razširjen za merjenje toka na področju tehniških frekvenc. Če mu dodamo dovolj velik predupor, tako da je samo od njega odvisen tok, dobimo V-meter.

b.)

$$M_1 = \frac{\partial W_m}{\partial \alpha} = \frac{i^2}{2} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

$$M_2 = -D \cdot \alpha$$

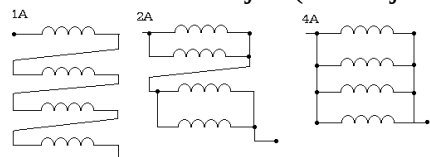
$$M_1 + M_2 = 0$$

$$\alpha = \frac{i^2}{2 \cdot D} \cdot \frac{\partial L}{\partial \alpha}$$

$$\alpha = k \cdot \frac{I^2}{r^2}$$

r.....razdalja med ploščama

c.) Instrument ima linearno skalo, razen na začetku. Saj je pri majhnih vrednostih toka iduktivnost velika, pri velikih tokovih pa majhna. Dopusča velike kratkotrajne obremenitve. Razred točnosti je odvisen od kvalitete Fe lističev. Merilno območje A-metra spreminjamo z različno vezavo tuljav (sestavljena je iz več delov)



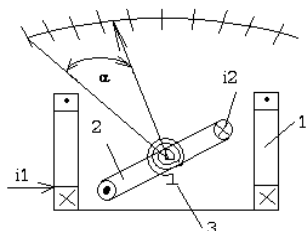
Merilno območje V-metra razširimo z vključitvijo predupora. Uporabljamo ga za direktno merjenje izmeničnih veličin jalovega toka. Instrument meri efektivno vrednost izmenične veličine.

Lastnosti:

- ni potrebno umerjati signala, ker se lističa vedno odbijata;
- za vse oblike signalov;
- malo sestavnih delov (mala cena);
- odporen na preobremenitve;
- vedno meri efektivno vrednost;

13.) Elektrodinamični instrument (W-meter):

- Wattmeter za enosmerne meritve, odklonska enačba
- Wattmeter za izmenične meritve, odklonska enačba, izvedba, lastnosti, uporaba



- 1.) nepremična tuljava;
- 2.) vrtljiva tuljava;
- 3.) spiralna vzmet;

a.) Delovanje instrumenta temelji na sili med vodnikoma v katerih teče el. tok. Oba vodnika pri elektrodinamičnem instrum. sta oblikovana v tuljavici, od katere je ena premična in druga nepremična. Neopremična je običajno razdeljena na dva enaka dela, ki proizvajata hoberogeno mag. polje v katerem se vrti vrtljiva tuljavica. Protimoment je pri elektrodinamičnih instrumentih izveden z vzmetno spiralo, ki hkrati služi za dovajanje toka v vrtljivo tuljavico. Dušenje je zračno, pri bolj natančnih instrum. pa elektromagnetno.

$$\text{Mag. energija: } W = \frac{1}{2} \cdot L_1 \cdot i_1^2 + i_2^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot L_2 + i_1 \cdot i_2 \cdot M$$

Če sta tokova enosmerna je produkt odvisen od odklona: $M = \frac{\partial W}{\partial \alpha} = i_1 \cdot i_2 \cdot \frac{\partial M}{\partial \alpha}$

$$\text{odklon } \alpha = k \cdot I_1 \cdot I_2$$

Odklon je dejansko product toka in napetosti, to pa je moč!

$$\alpha = k_1 \cdot I \cdot \frac{u}{R_t} = k_2 \cdot P$$

b.) Električni vrtilni moment se periodično spreminja, odklon je odvisen od povprečne vrednosti navora.

$$M = \frac{\partial M}{\partial \alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$$

$$\alpha = k_1 \cdot I_{ef1} \cdot I_{ef2} \cdot \cos \varphi$$

Idealen je za merjenje moči, ker je odklon odvisen od faznega premika. Moč je produkt napetosti in tiste komponente toka, ki je v fazi z napetostjo. Instrument v tem primeru meri delovno moč.

Uporabljamo ga izključno za merjenje moči.

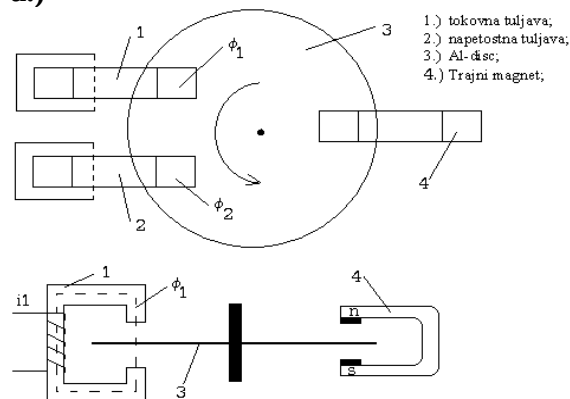
Izvedbe:

- elektrodinamični brez železa (W-meter, A-meter, V-meter);
- elektrodinamični z železom (kot obratovni merilec moči). Uporabljamo ga kot V-meter z kvadratično skalo, kot A-meter za male tokove, za velike tokove damo predupor;
- W-meter za direktno merjenje moči, tokovna tuljava je nevrtiljiva;

14.) Indukcijski števec električne energije:

- Skica izvedbe
- Ravnotežna enačba, dokaz da instrument meri energijo
- Lastnost in uporabo števca

a.)



Delovanje indukcijskega instrum. temelji na sili, s katero deluje mag. polje na vodnik v katerem teče el. tok, ki pri indukcijskem instrum. ni vsiljen temveč se inducira v gibljivem organu zaradi spremenljivega mag. pola.

Skozi vzbujalno navitje elektromagneta 1 teče sinusni tok i_1 , ki proizvaja Φ_1 , skozi vzbujalno navitje elektromagneta 2 pa za fazni kot Φ premaknjen sinusni tok, ki proizvaja Φ_2 . Oba elektromagneta imata režo v kateri se giblje kolot iz Al.

b.)

$$M_1 = k_\delta \cdot \phi_1 \cdot \phi_u \cdot \sin \psi = k_G \cdot U \cdot I \cdot \sin \psi$$

$$\psi = 90 - \varphi$$

$$\sin \psi = \cos \varphi \Rightarrow M_1 = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

$$M_2 = k_2 \cdot \frac{n}{t}$$

$$n = k \cdot W$$

t.....hitrost

M_2zavorni moment

W.....pove koliko energije smo porabili

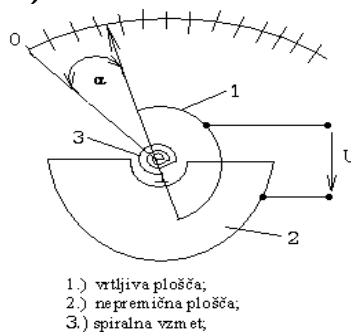
n.....konst. števca vrt/kWh kolikokrat se zavrti za kWh.

c.) Dušenje elektromagnetno, odvisno je od frekvence, nanj vplivajo napetost in temperaturni razred. Preprosta konstrukcija in zanesljivost. Dopušča preobremenitve do 400% I_n . Uporablja se vzgol za merjenje delovne in jalove energije v 1-no faznih in 3 faznih sistemih. Števce se kontrolira na 12 let.

15.) Elektrostatični instrument:

- Principielna izvedba
- Lastnosti in uporaba instrumenta

a.)



$$W = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

$$M_1 = \frac{\partial W}{\partial \alpha} = u^2 \cdot \frac{\partial C}{\partial \alpha}$$

$$M_2 = -D \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{1}{2 \cdot D} \cdot u^2 \cdot \frac{\partial C}{\partial \alpha}$$

Če se kapacitivnost enakomerno spreminja z odklonom, je skala kvadratična. $\alpha = k \cdot U_0^2$
Ko priključimo napetost se med ploščama poveča kapacitivnost in sila zavrti gibljivo ploščo.

b.) Lastnosti:

Vrtljni moment je odvisen od napetosti. Izredno majhna lastna raba. Deluje po principu kondenzatorja. Merimo lahko enosmerne in izmenične napetosti, saj je navor odvisen od kvadrata kvadratne trenutne napetosti. Dopuszna napetostna preobremenitev znaša 50% U_N . Občutljiv je na el. polje. Razred je pri normalni izvedbi od 1-2,5. Dušenje je zračno ali elektromagnetno.

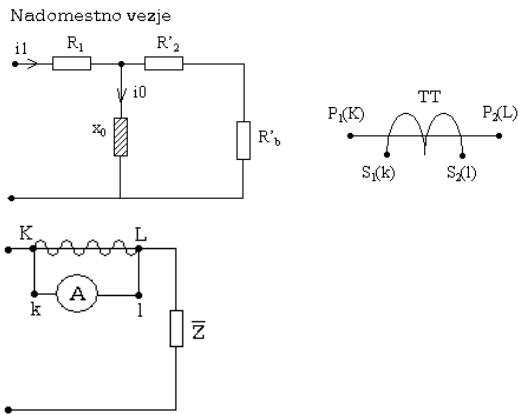
Napetostno območje za merjenje izmenične napetosti razširimo z kapacitivnim delilnikom napetosti. Pri enosmernih pa uporabimo uporovni delilnik

16.) Tokovni merilni transformator:

- Uporaba
- Vezava v merilno vezje, oznake sponk
- Tipične lastnosti
- Pogreški, prikaz z kazalčnim diagramom

a.) Merilni transformator je namenjen za prenos inforacijskega signala k merilnim instrumentom in števcem energije. Z njim razširjamo merilno območje (A-m, V-m, W-m), lahko tudi za zožanje merilnega območja. Sestavljen je iz feromagnetnega jedra ter galvansko ločenih primarnega in sekundarnega navitja

b.)

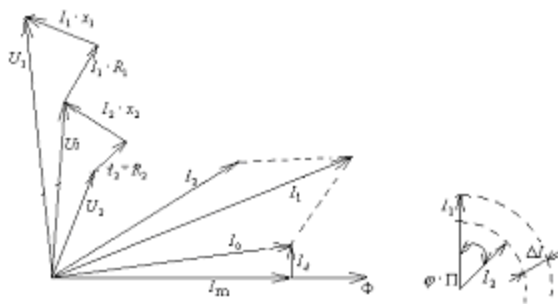


Mora biti vedno obremenjen, ker če izklopimo A-meter ga uničimo (vzamemo sponke ven)!

c.) Razvrščamo jih v 6 točnostnih razredov: 0,1-0,2-0,5-1-3-5;

Pri uporabi moramo paziti, da je dejansko breme med 25% in 100% nazivnega. Merilni TT štiti merilne instrumente pred kratkim stikom na primarni strain. Sekundarni sponki ne smeta ostati nikoli odprti, ker bi drugače mag. pretok v jedru zelo narastel, kar bi lahko pustilo trajne posledice.

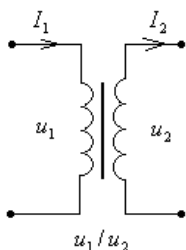
d.)



Pogreški so odvisni od velikosti obremenitve na obeh straneh, podajamo pa jih za določene razrede in sicer mejo pogreška PRESTAVE (%) in mejo pogreška KOTA (min).

17.) Napetostni merilni transformator:

- Uporaba
- Vezava v merilno vezje, oznaka sponk
- Pogrešek, prikaz z kazalčnim diagramom



Zato da znižamo veliko primarno napetost u_1 uporabimo napetostni merilni transformator. To je v bistvu navaden napetostni transformator, narejen iz trafo pločevine, katera ima ozko histerezne zanke. Ta zanka ima malo izgub v železu.

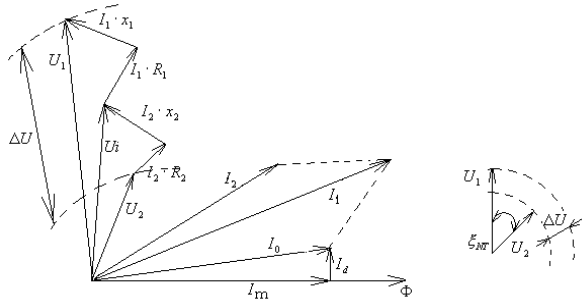
Tudi napetostni merilni transformator uporabljamo za razširjanje merilnega območja (V-m, W-m). Tudi za napetostni merilni transformator podamo razred točnosti, s pomočjo katerega v tabelah najdemo mejo pogreškov prestave (%) in kota (min). Ker prihaja do velikih potencialnih razlik mora biti dobro izoliran. Na točnost vplivajo tudi impedancca instrumenta, ki jo ustrezno izberemo.

Razvrščamo jih v 5 točnostnih razredov: 0,1-0,2-0,5-1-3;

Ugotavlja:

galvansko ločenost, prilagoditev razmeram v mmerilnem tokokrogu, zaščita merilnih instrumentov.

Napetostni merilni transformator je po obratovalnem stanju blizu praznemu toku.

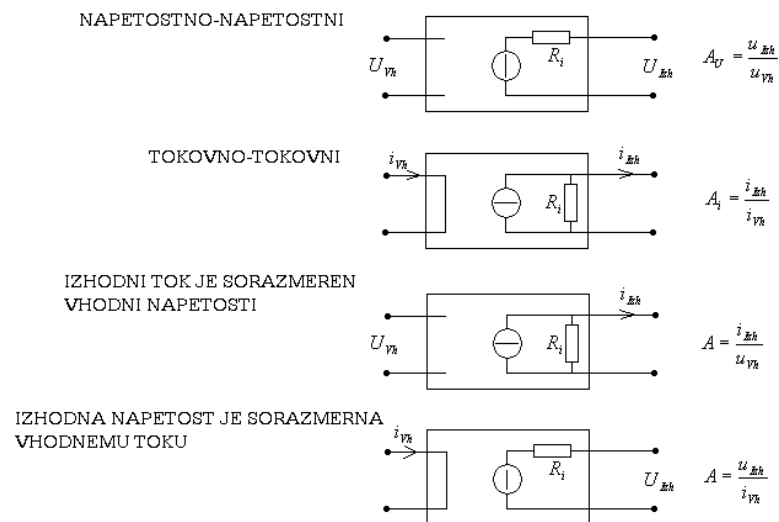


18.) Merilni ojačevalnik:

- Osnovni tipi in zahteve za merilni ojačevalnik
- Prednosti in pomankljivosti
- Negativna povratna zveza

So naprave z 2 vhodnima in 2 izhodnima sponkama. Ustrezno nam ojačajo signal, ki ga priključimo na vhod, lahko pa nam dva signala tudi matematično predelajo.

Osnovni tipi:



Zahteve:

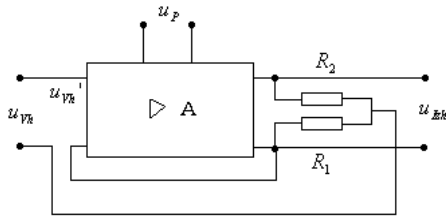
- minimalni povratni vpliv na merjenec ($R_{vh}=\infty$);
- visoka občutljivost $A=\infty$;
- definirane prenosne karakteristike;
- dobre dinamične lastnosti (hitri preklopi);
- stabilnost izhodnega signala (instr. naj ne vpliva nazaj);

Pomanjklivosti:

- nestabilno ojačanje zaradi t in T;
- potrebuje dodatno napajanje ±5 V;
- offsetna napetost (nekaj moramo dati na vhod da je na izhodu 0);
- drift delovne točke (0,1 μV/°C – 15 μV/°C);

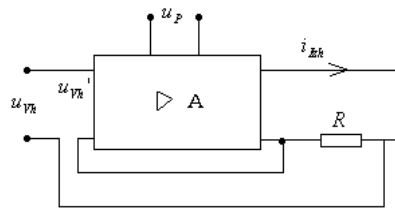
Negativna povratna vezava:

a.) Napetostna



$$A = \frac{u_{ZK}}{u_{VK}'} \\ A' = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{u_{ZK}}{u_{VK}}$$

b.) Tokovna

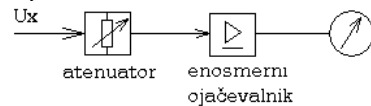


$$A = \frac{i_{ZK}}{u_{VK}'} \\ A' \approx \frac{1}{R} = \frac{i_{VK}'}{u_{VK}}$$

19.) Analogni elektronski voltmeter:

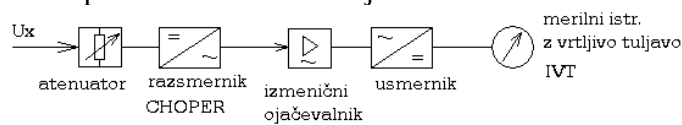
- Enosmerni elektronski voltmeter, izvedba, lastnosti
- Izmenični elektronski voltmeter, izvedba, lastnosti

a.)



Vhodna upornost je odvisna od uporovne verige, ki sestavlja attenuator in je odvisna od izbranega merilnega območja.

Takšni V-metri so primerni za merjenje večjih enosmernih napetosti. Delovna točka se spreminja zaradi temp. in nam kazalec vedno niha (Drift). To preprečimo tako, da uporabimo razsmernik, kjer enosmerne najprej pretvorimo izmenične, jih ojačamo in nato usmerimo. Tako praktično ni več lezenja delovne točke in lahko merimo tudi male napetosti.



Izvedbe:

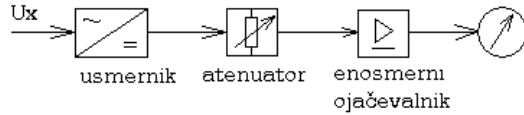
- analogni;
- enosm. z izm. ojačevalnikom za majhne napetosti;
- z fotouporovnim razsekalcem;

b.) Razlikujemo dva tipa, prvi najprej ojačuje, nato usmeri, drugi pa ravno obratno. Druga stran

1.)



2.)

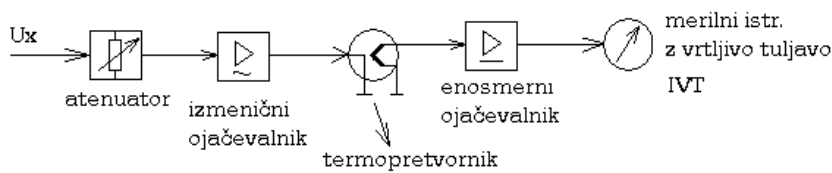


Prvo uporabljamo tam kjer je oblika odvisna od usmerjene vrednosti napetosti.

Druga pa uporabljamo tam, kjer je napetost na izhodu sorazmerna temenski vrednosti izmenične napetosti.

Sistemski pogrešek se pojavi takoj, ko izmenična napetost ni sinusna.

V-meter za merjenje efektivne vrednosti napetosti:

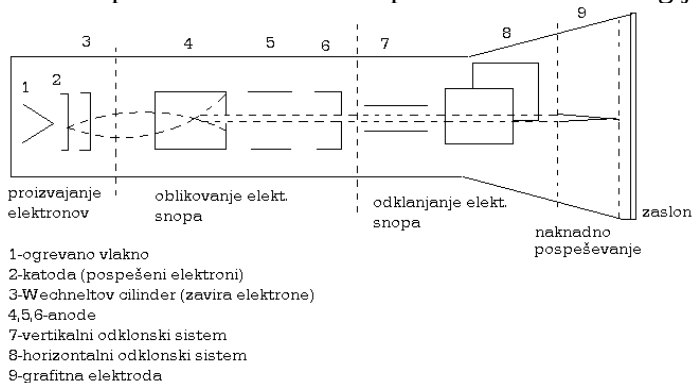


Po atenuatorju (1) in širokopasovnem izmeničnem ojačevalniku (2) pripeljemo izmenično napetost na ogrevno nitko termopretvornika (3). Moč s katero je ogrevana je sorazmerna kvadratu efektivne vrednosti merjene napetosti in njeni upornosti. Napetost na sponkah termoelementa je enosmerna in je nizka in ni primerna za neposredno priključitev na IVT (5). Zato jo je potrebno z enosmernim ojačevalnikom ojačati (4).

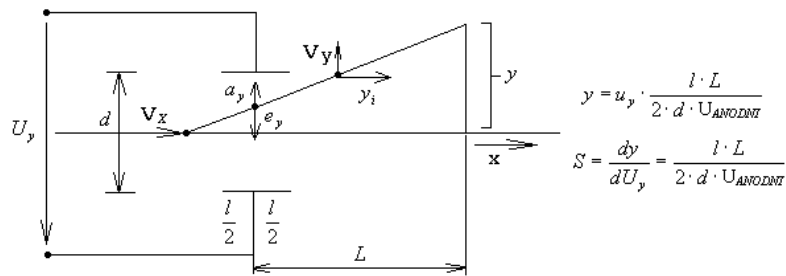
20.) Analogni osciloskop:

- Braunova elektronika, občutljivost
- Izvedba opazovanja časovnega poteka signalov
- Lastnosti osciloskopov

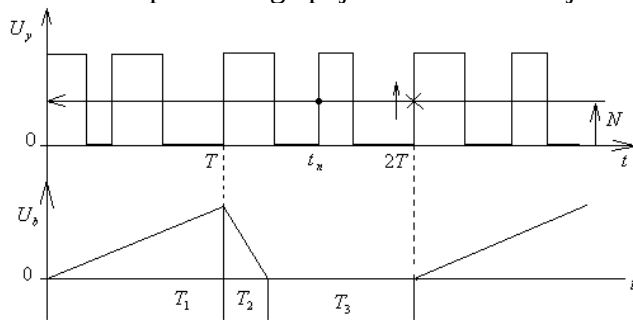
Uporabljamo za opazovanje merjenih veličin. Glavna enota je BRAVNOVA elektronika. V njej se ustvari oblak elektronov, ker pride do potencialne razlike začnejo ti elektroni potovati proti zaslonu. Elektrone oblikujemo v snop preko 3 anod (fokusiramo), nato odklonimo s pomočjo vhodnega signala (y) in žagaste napetosti (x). Elektroni z veliko hitrosjo zadevajo fosforni premaz na zaslonu in pri tem se elekt. energija pretvarja v svetlobo.



Občutljivost BRAVNOVE electrode:



b.) Če želimo časovno opazovati signale moramo dovesti napetost na horizontalne sponke. Za časovni potek skrbi žagasta napetost določene amplitude. Če žagasto napetost uskladimo z frekvenco opazovanega pojava dobimo mirujoče sliko.



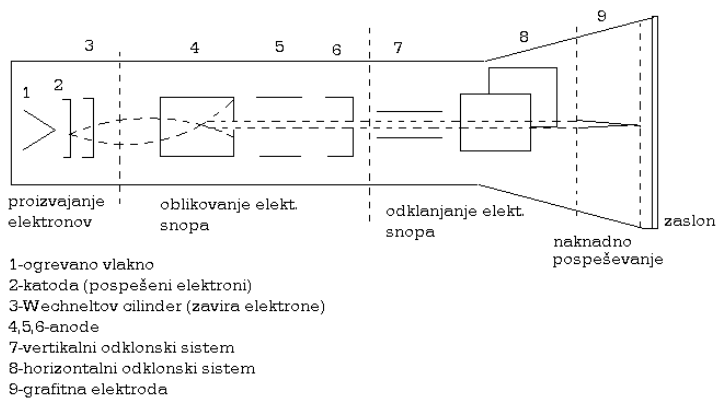
Napetost vleče žarek od začetka do konca.
V trenutku preskoči in konča na začetku.

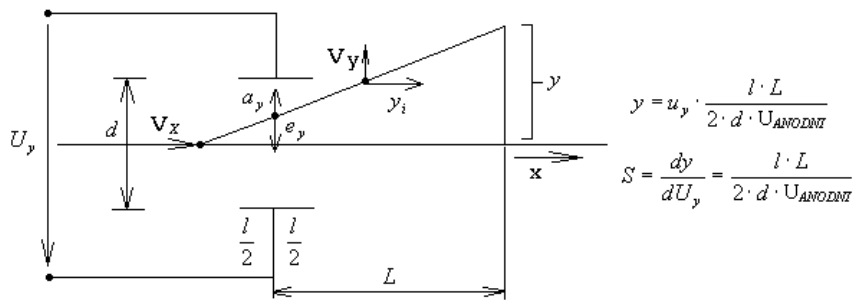
c.) Lastnosti osciloscopa:

- natančnost 3-5y;
- merjenje U_x od nekaj μV do 10^3 ;
- merjenje f od nekaj Hz – 20 MHz;
- neodvisno od oblike in frekvence;

21.) Analogni osciloskop:

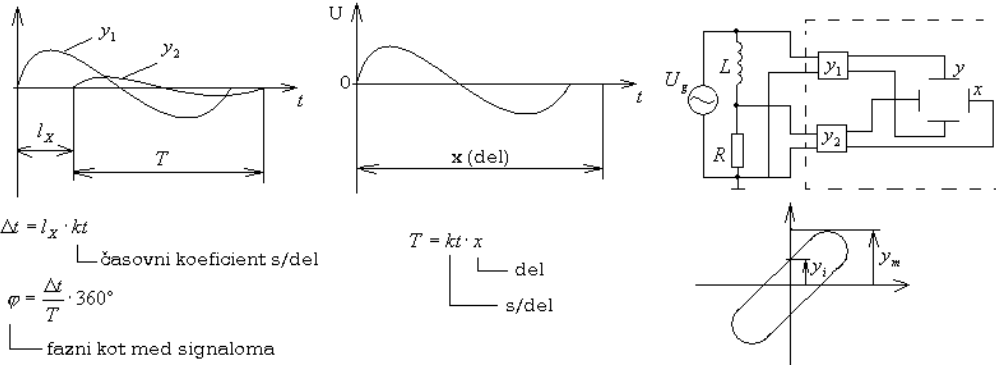
- Braunova elektronka, občutljivost
- Tvorba slike na zaslonu v primeru merjenja faznega kota in frekvence, priključitev R-L bremena pri merjenju faznega kota





$U_y = U_{ANODNI}$

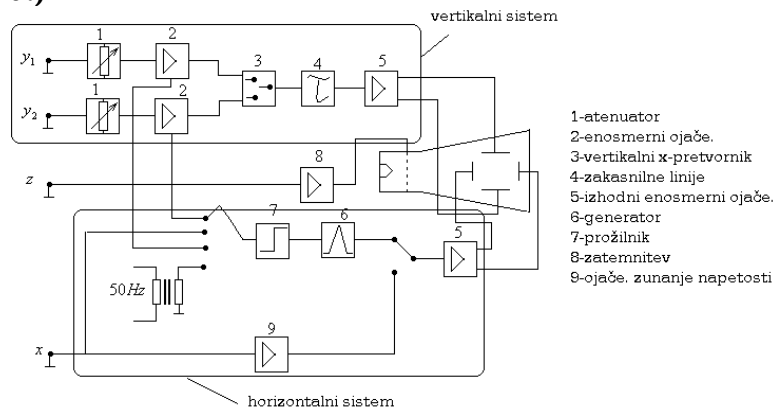
Merjenje frekvence:



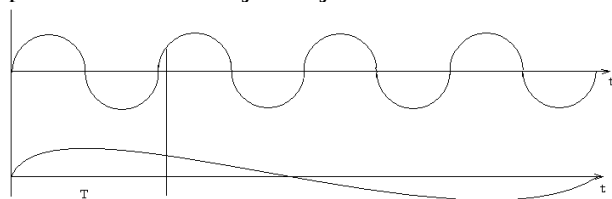
22.) Posebne izvedbe osciloskopov:

- Dvokanalni osciloskop
- Vzorčevalni osciloskop
- Digitalni osciloskop, tipične lastnosti, izvedbe, uporaba

a.)



b.) Zgornja frekvenčna meja analognih elektronskih osciloskopov za opazovanje dogotkov, ki se tisti hip dogajajo pred nami ne preseže 500Hz. Da bi bi opazovali signale še višjih frekvenc uporabimo tehniko jemanja vzorcev na sliki:



pri običajnem analognem osciloskopu se opazovani signal sproti dovaja odklonskemu sistemu, pri vzorčevalnem osciloskopu pa v vsaki periodi vzamemo le po en vzorec, ki ustreza trenutni vrednosti merjene napetosti.

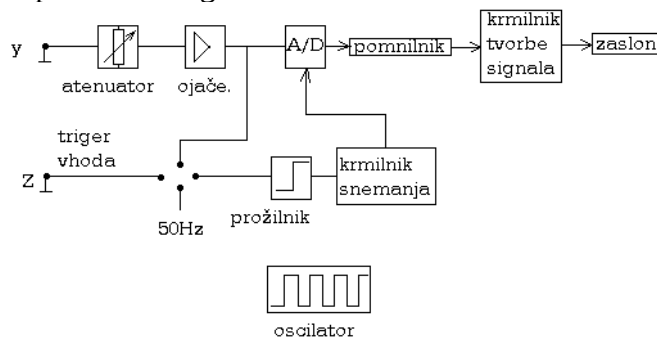
Če je število vzorcev veliko, je njegova frekvenca N-krat manjša od frekvenca merjenega signala. To lahko uporabljamo samo pri periodičnih merjenih veličinah.

c.)

Prikazovanje signala na zaslonu lahko izvedemo na 2 načina:

- z digitalno analogno (D/A) pretvorbo in katodno cevjo kot pri analognih osciloskopih;
- z rasterskimi zasloni, kot jih imamo v računalniški tehnologiji;

Ima zelo podoben del kot analogni, s tem da signal pretvori v digitalno obliko in ga shrani v pomnilnik. Na vhodu lahko signal spet pretvori v analognobliko in se prikaže na zaslonu, ali pa uporabimo nastenski zaslon (kot monitor). Zaradi pomnilnika je zelo uporaben tudi za neperiodične signale.



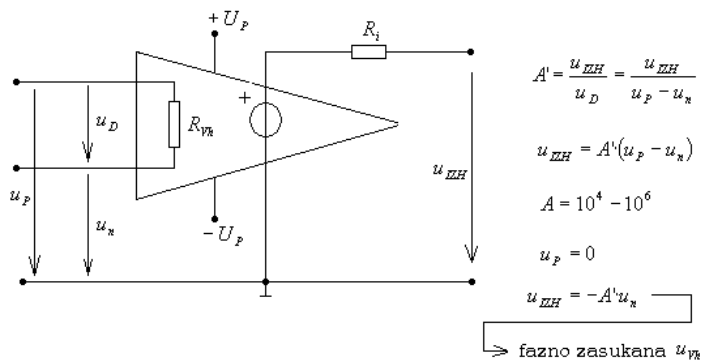
Lastnosti:

- večja točnost
- ponavljivost
- velika občutljivost
- hitro in enostavno odčitavanje
- avtomatizacija merjenja
- enostavna obdelava in prikaz rezultata

23.) Operacijski ojačevalnik v merilni tehniki:

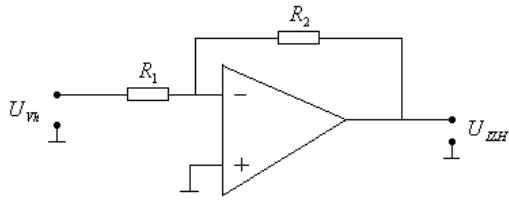
- Nadomestna shema
- Inverter, seštevalnik, odštevalnik
- Tvorba efektivne vrednosti

a.)



b.)

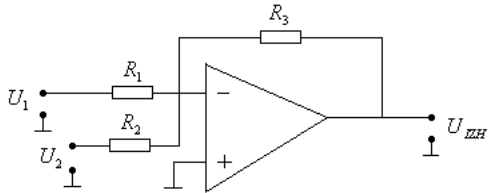
INVERTOR:



$$A_U = -\frac{R_2}{R_1} = -1$$

$$U_{ZH} = -U_{VK}$$

Seštevalnik:

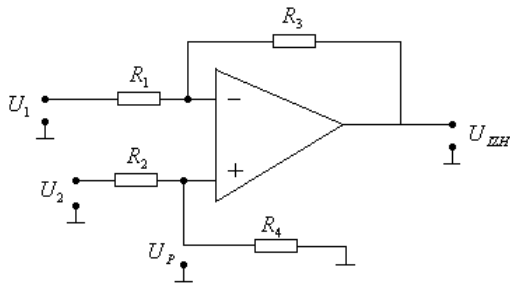


$$R_1 = R_2 = R_3$$

$$U_{ZH} = -\frac{R_3}{R} (U_1 + U_2)$$

konst.

Odštevalnik:

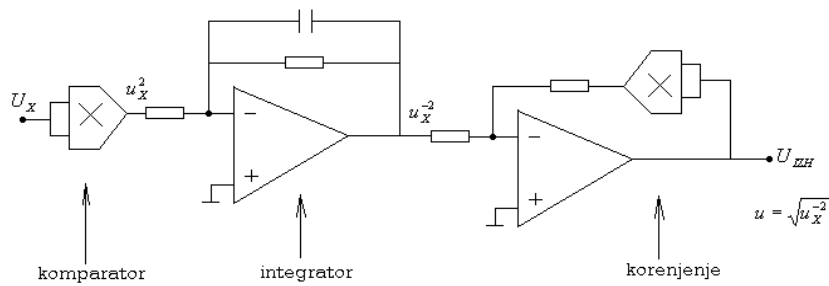


$$R_1 = R_2$$

$$R_3 = R_4$$

$$U_{ZH} = -\frac{R_4}{R_2} (U_1 - U_2)$$

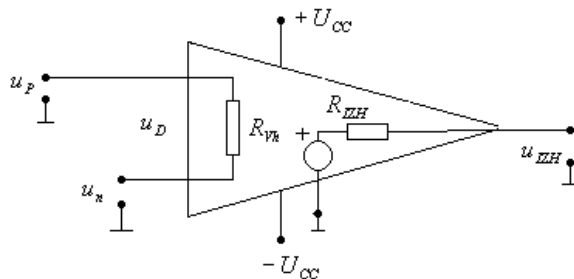
c.)



24.) Operacijski ojačevalnik v merilni tehniki:

- Nadomestna shema
- Integrator, diferenciator, korenjenje

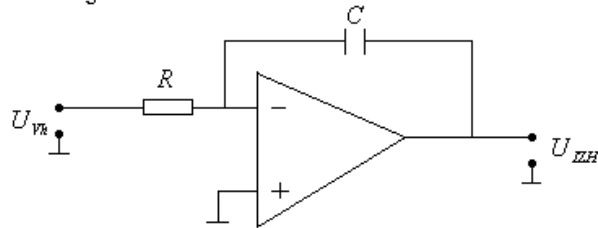
a.)



$$A' = \frac{U_{ZH}}{U_D} = \frac{U_{ZH}}{U_P - U_N} = 10^4 - 10^6$$

b.)

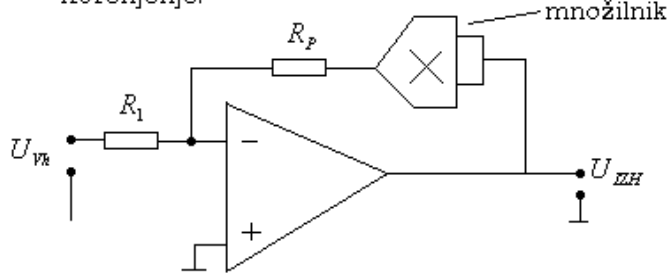
Integrator:



$$i_p = C \cdot \frac{dU_{ZH}}{dt} = -i_{vk} = -\frac{u_{vk}}{R}$$

$$u_{ZH} = -\frac{1}{C} \int i_{vk} \cdot dt = -\frac{1}{R \cdot C} \int u_{vk} \cdot dt$$

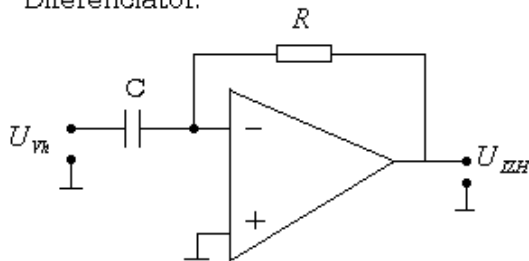
Korenjenje:



$$i_p = \frac{k \cdot U_{ZH}^2}{R_p} = -i_{vk} = \frac{u_{vk}}{R_1}$$

$$u_{ZH} = -\sqrt{\frac{R_p}{k \cdot R_1}} \cdot u_1$$

Diferenciator:



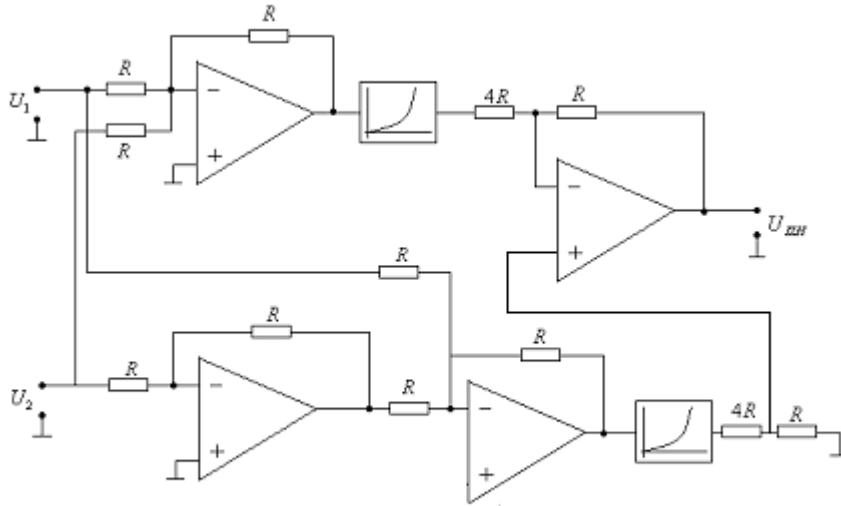
$$i_{vH} = C \cdot \frac{dU_{vH}}{dt} = -i_p = -\frac{U_{ZH}}{R}$$

$$u_{ZH} = -R \cdot C \cdot \frac{dU_{vH}}{dt}$$

25.) Operacijski ojačevalnik v merilni tehniki:

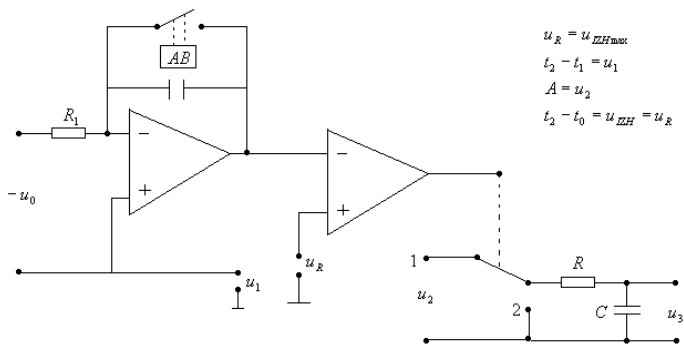
- Analogni množilnik, blokovna shema, časovni potek signalov
- Impulzni množilnik, blokovna shema, časovni potek signalov

Analogni množilnik:



$$u_1 \cdot u_2 = \frac{1}{4} \left((u_1 + u_2)^2 - (u_1 - u_2)^2 \right)$$

Impulzni množilnik:

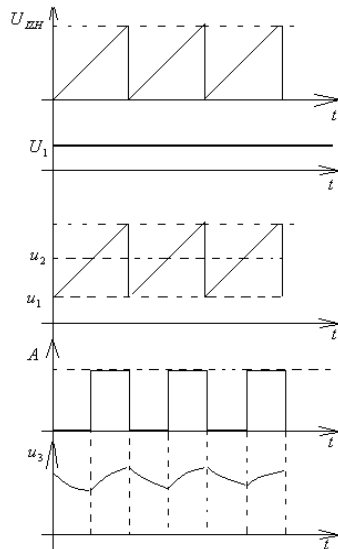


$$u_R = u_{ZHmax}$$

$$t_2 - t_1 = u_1$$

$$A = u_2$$

$$t_2 - t_0 = u_{ZH} = u_R$$

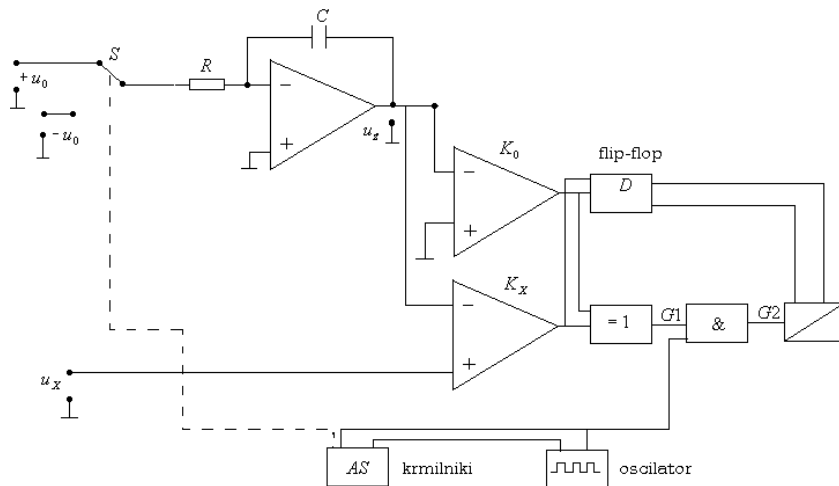


Na izhodu dobimo nek impulz, katerega časovni interval je porpocionalen eni veličini, amplituda pa druge.

26.) Digitalna merjenja:

- retvorba enosmerne napetosti v čas z enojno ali dvojno žagasto napetostjo, blokovna shema, časovni potek signalov

Enojna žaga:

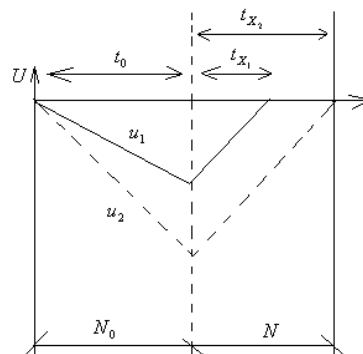
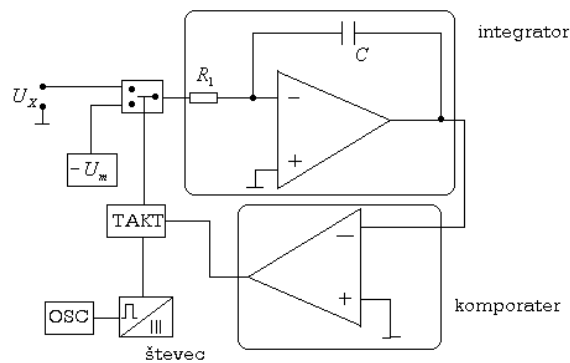
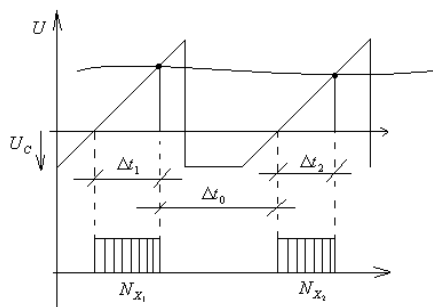


Komparator primerja napetost z žagasto napetostjo. Ko žaga naraste U_0 vklopi števec. Ko U_z doseže U_x se štetje ustavi in rezultat $U = k \cdot n$

$k \dots \dots$ konst.

$n \dots \dots$ št. impulzov števec

Dvojna žaga:



$$1.) u = -\frac{1}{R \cdot C} \int u_x \cdot dt$$

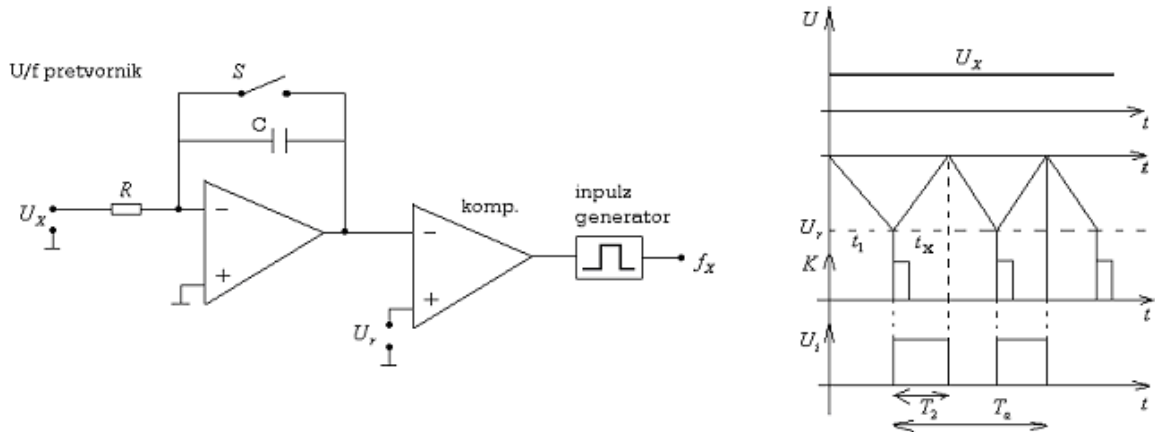
$$2.) u = u_0 + \frac{1}{R \cdot C} \int u_x \cdot dt$$

$$\frac{U_x}{U_N} = \frac{N_x}{N_0} \Rightarrow U_x = U_N \cdot \frac{N_x}{N_0}$$

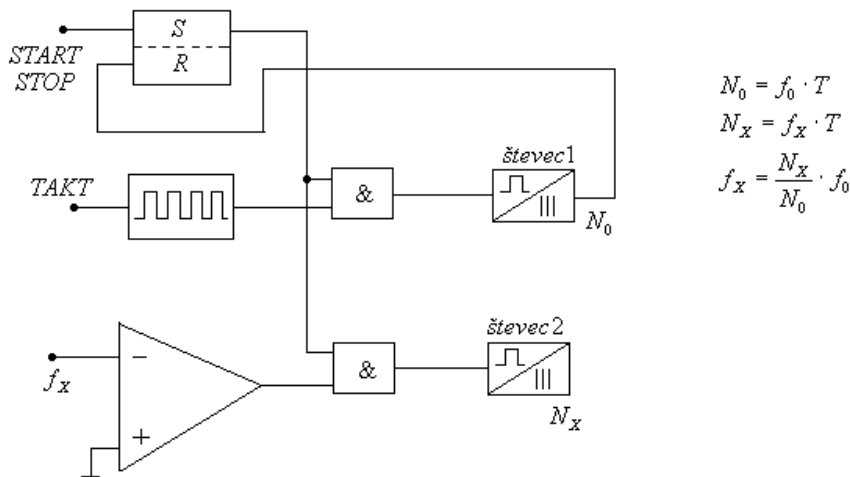
27.) Digitalna merjenja:

- Pretvorba enosmerne napetosti v frekvenco, blokovna shema, časovni potek signalov,
- Digitalni princip merjenja frekvenc

a.) U_x se primerja z U_r . Ko je $U_r = U_x$, da komponenta impulz, kondenzator C izprazni ($U_r = 0$), takrat se tudi impulzi nehajo, se jih pa v tem pojavi neko število (T_a).

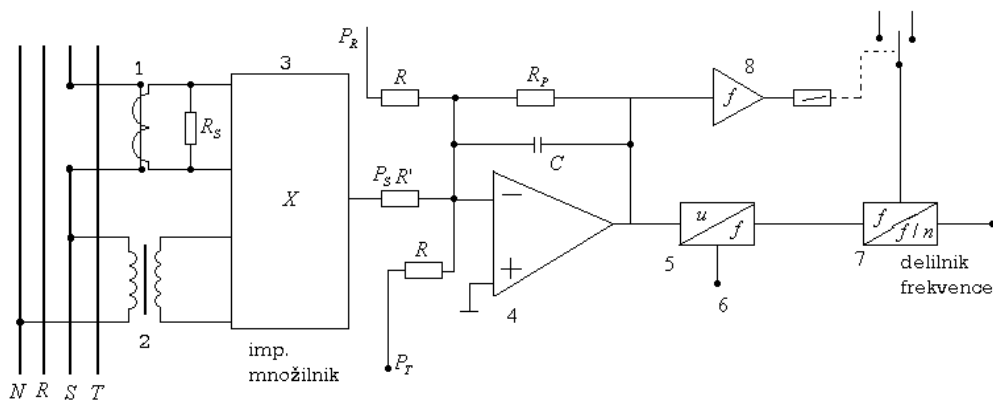


b.) Imamo 2 števec (za znano in neznanu veličino). Oscilator pošilja impulse na N-vrata. Ko na preklopno vezje damo signal, se obojna vrata odprejo. Na prvem števcu imamo nastavljeno št. impulzov do katerega štejemo, ko je to doseženo damo signal in obojna vrata se zapro. Imamo znani obe števili impulzov N_0 in N_x po enačbi izračunamo f_x .



28.) Digitalno merjenje energije:

- Blokovna shema merilnika
- Potek in pomen signalov v merilniku
- Lastnosti digitalnega števca energije



Tokovni signal jemlemo iz TT(1), napetostni pa iz NT(2). Ta dva signala peljemo na impulzni množilnik (3), na njegovem izhodu dobimo napetost proporcionalno ploščini.

R_p in C služita kot seštevalni in U_{IZH} je proporcionalna P . Delilnik frekvenc nam reducira frekvenco. Impulzi gredo na blok 9 in 10 ($f \approx P$). Števec v bloku šteje impulse (števec sta 2, en šteje prejeto drugi oddano energijo).

Lastnosti:

- večja točnost;
- dobra ponavljivost;
- visoka občutljivost;
- hitrejša odčitavanje;
- enostavnejša avtomatizacija merjenja;

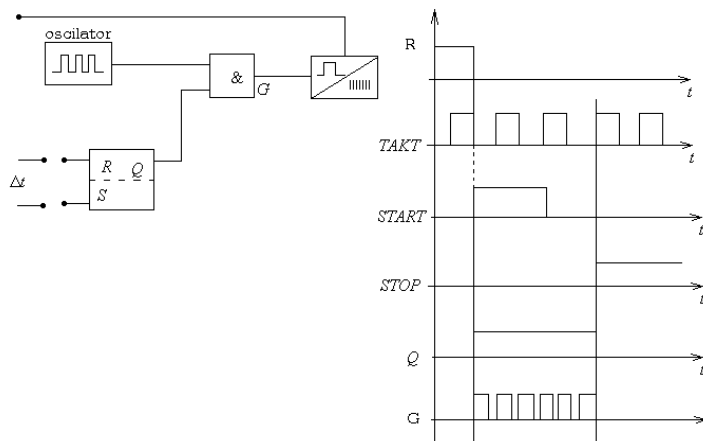
29.) Digitalna Merjenja:

- Digitalno merjenje časa
- Digitalno merjenje periode T_x
- Blokovna shema, časovni potek signalov

Trčnost je odvisna velikosti frekvence (čim večja tem boljša). Pogrešek = \pm impulz

$$\Delta t = \frac{\text{št. impulzov}}{f}$$

Ko pritisnemo na START začne števec šteti impulse, ko stisnemo STOP preneha. Št. impulzov delimo z frekvenco oscilatorja in dobimo čas.



Digitalno merjenje periode: T_x

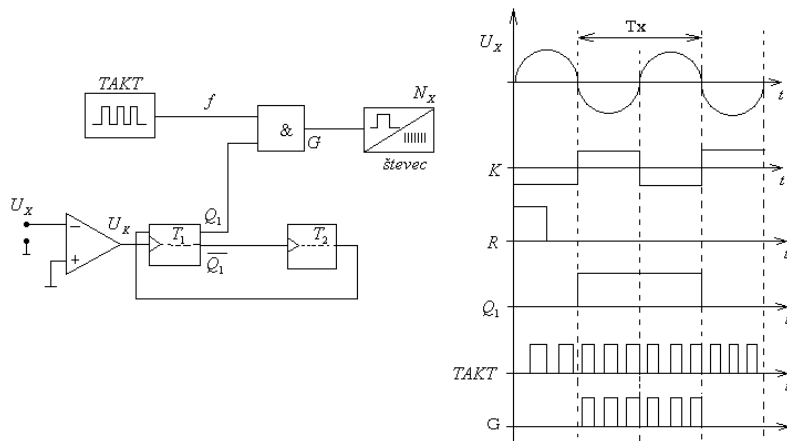
T_2 vpliva na T_1 tako, se opravi meritev 1. periode. Število impulzov delimo z frek. takta in to je čas prve periode.

V praksi se meri več period in na osnovi tega poda neko povprečno vrednost da je natančnost večja.

$$N_x = f \cdot T_x$$

$$T_x = \frac{N_x}{f}$$

T_xizkana perioda
 N_ximpulzi
 fznana frekvenca

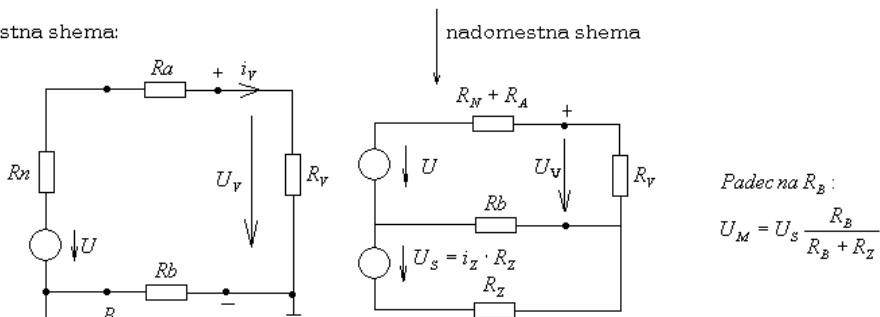


30.) Vhodna stopnja elektronskih instrumentov:

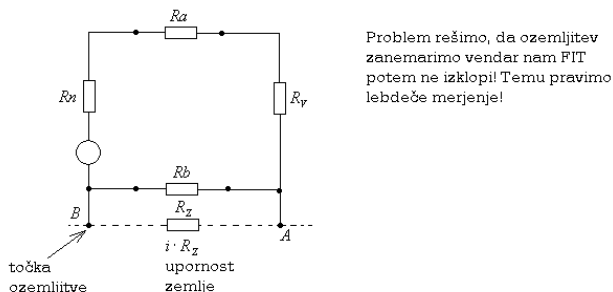
- Problematika merjenja z ozemljeni vhodom
- Ukrepi za izločanje napak

Vhodne stopnje elektronskega inštrumenta so neki atenuatorji, ki prilagodijo vhodno veličino (U,I) na tako velikost kot ustreza instrumentu, vhodno upornost pa prilagodijo merjencu (kompenzacija).

Nadomestna shema:

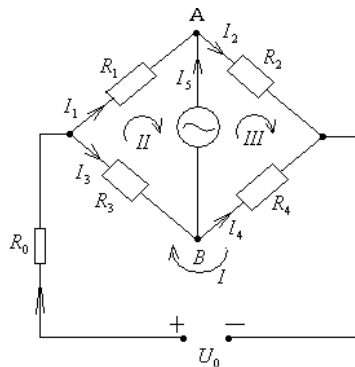


Krajevno različna in vpliv bledečih tokov:



31.) Mostična vezja:

- Enosmerni Wheatstonov mostič, vezje, ravnotežna enačba, merilna negotovost
- Uporaba



Ravnotežna enačba: $I_5 = 0$

Mostič priključimo na napetost in nastavljamo vrednosti uporov tako dolgo dokler ni tok na ničelnem indikatorju enak 0. Takrat je mostič v ravnovesju in lahko izračunamo naznano upornost R_1 .

$$I_1 \cdot R_1 = I_3 \cdot R_3$$

$$I_2 \cdot R_2 = I_4 \cdot R_4$$

$$\frac{I_1 \cdot R_1}{I_2 \cdot R_2} = \frac{I_3 \cdot R_3}{I_4 \cdot R_4}$$

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

$$R_1 = R_2 \cdot \left(\frac{R_3}{R_4} \right)^{\text{konst.}}$$

Merilna negotovost:

Do merilne negotovosti pride, ker skozi ničelni indikator teče tok, ki je manjši od $I_{5,MBV}$. Zato v resnici vzpostavimo le približno ravnotežje.

$$e_{MBV} = \pm \frac{I_{5,MBV}}{U_0} \cdot R_1 \left(1 + m + n + m \cdot n + q \cdot \left(m + 2 + \frac{1}{m} \right) \right)$$

$$R_2 = m \cdot R_1$$

$$R_3 = n \cdot R_1$$

$$R_4 = m \cdot n \cdot R_1$$

I_{5min} je najmanjši tok, ki ga še opazimo na ničelnem indikatorju.

Merilna negotovost mostiča je odvisna tudi od merjene upornosti, zato je potrebno glede na njeno vrednost izbrati ostale elemente mostiča.

Z Wheatstonovim mostičem merimo v območju od $0,1\Omega$ do $10\text{ M}\Omega$, v praksi pa velikokrat postavimo spodnjo mejo na $1\ \Omega$ saj je omejena z vplivi upornosti povečav, zgornja pa je določena z občutljivostjo ničelnega indikatorja.

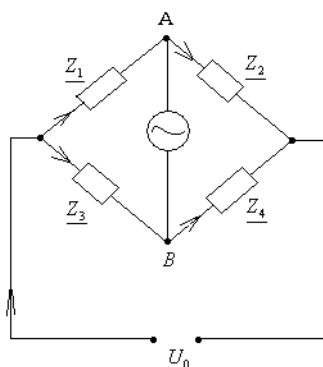
Uporaba:

Enosmerni Wheatstonov uporabljamo predvsem za merjenja ohmske upornosti in veličin, ki se dajo izraziti s pomočjo ohmskih upornosti. To so temperatura, tlak, premik, upogib,....

32.) Mostična vezja:

- Izmenično mostično vezje, osnovna ravnotežna enačba, merjenje kapacitivnosti in $\text{tg}\delta$ z mostiči

a.) IZMENIČNI MOSTIČ



Ravnotežna enačba: $I_5 = 0$

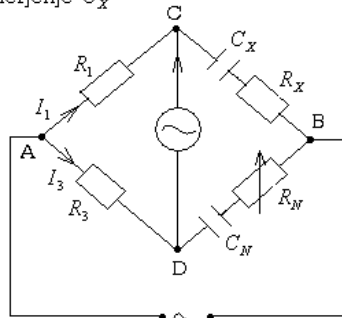
$$I_1 \cdot Z_1 - I_3 \cdot Z_3 = 0$$

$$I_2 \cdot Z_2 - I_4 \cdot Z_4 = 0$$

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{Z_3}{Z_4}$$

Izmenični mostiči so bolj občutljivi na medsebojne pojave.

Eienov mostič za merjenje C_x preko $tg\delta$



$$R_1 \cdot R_N = R_3 \cdot R_x$$

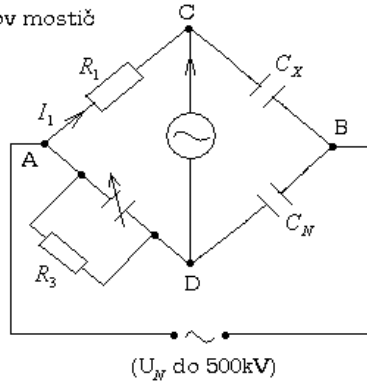
$$R_x = R_N \cdot \frac{R_1}{R_3}$$

$$\frac{C_N}{R_1} = \frac{C_x}{R_3}$$

$$C_x = C_N \cdot \frac{R_3}{R_1}$$

$$tg\delta = R_x \cdot \omega \cdot C_x$$

Sheringov mostič

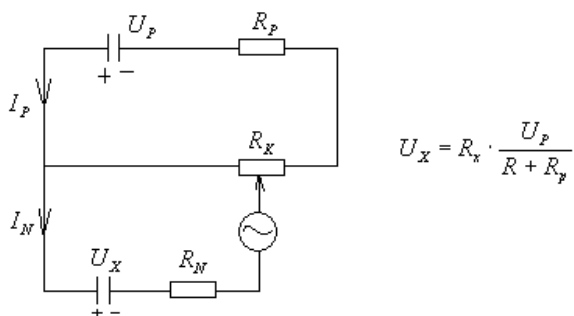


$$tg\delta = \omega \cdot R_3 \cdot C_3$$

34.) Kompensacijsko merilno vezje:

- Osnovno enosmerno vezje
- Lastnosti in uporaba

Uporabljamo za merjenje šibkih virov napetosti, ki jih ne smemo obremeniti. Pogrešek je zelo odvisen od natančnosti ničelnega indikatorja in določitve R_K . Pri kompenzaciji gre za neko primerjavo znane in neznane vrednosti.



$$U_x = R_x \cdot \frac{U_P}{R + R_p}$$

Merilna negotovost kompenzacijskega vezja:

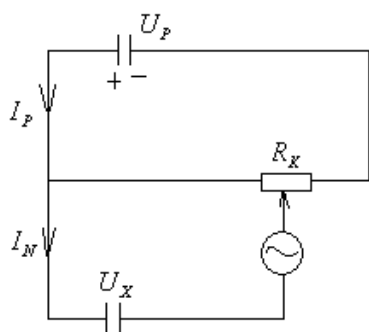
$$e_{\min} = \pm \frac{I_{nMIN}}{U_x} \left[R_N + R_K \cdot \frac{R_P + R_0}{R_P + R_0 + R_x} \right]$$

$I_{n \min}$ je podatek iz ničelnega indikatorja

R_nskupna upornost merjenca U_x in ničelnega indikatorja

Merilna negotovost kompenzacijskega vezja mora biti dovolj majhna. Nanj vplivamo z izbiro ničelnega indikatorja in z ostalimi elementi v vezju.

Osnovno vezje:



$$U_X = I_P \cdot R_X$$

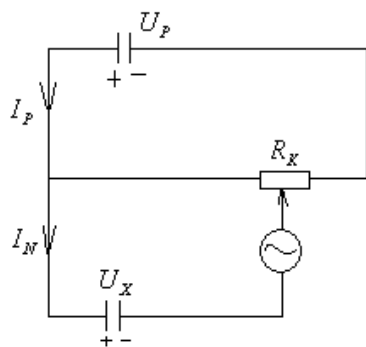
$$e_X = \pm \frac{I_{nMMN}}{U_X} \cdot R_X$$

Pri obeh meritvah ni velike točnosti. Veliko točnost dosežemo šele z posebnimi izvedbami preciziskih kompenzatorjev.

35.) Kompensacijska vezja:

- Osnovno enosmerno vezje, merilna negotovost
- Množenje in deljenje s kompenzacijskim vezjem s servomotorjem

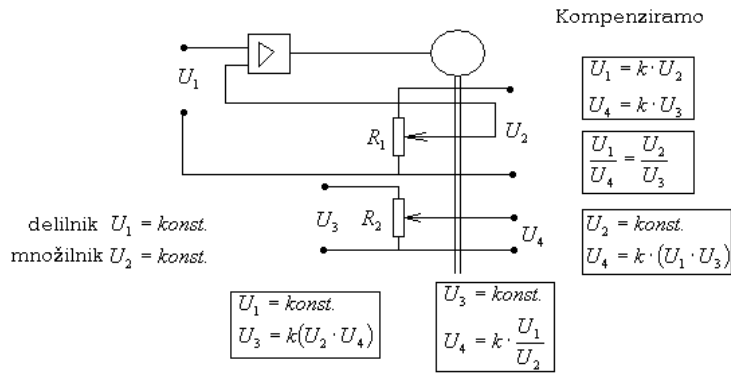
a.)



$$U_X = I_P \cdot R_X$$

$$e_X = \pm \frac{I_{nMMN}}{U_X} \cdot R_X$$

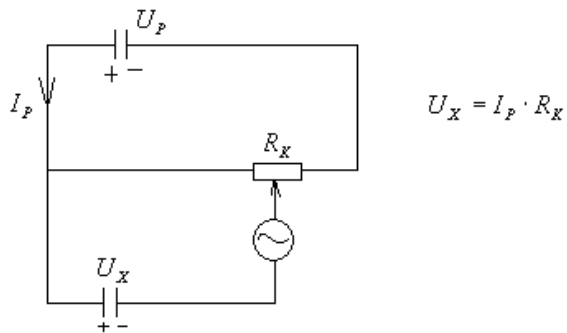
b.)



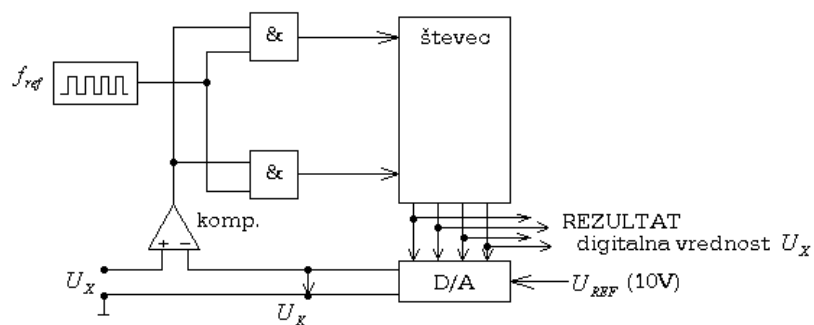
36.) Kompenzacijska vezja:

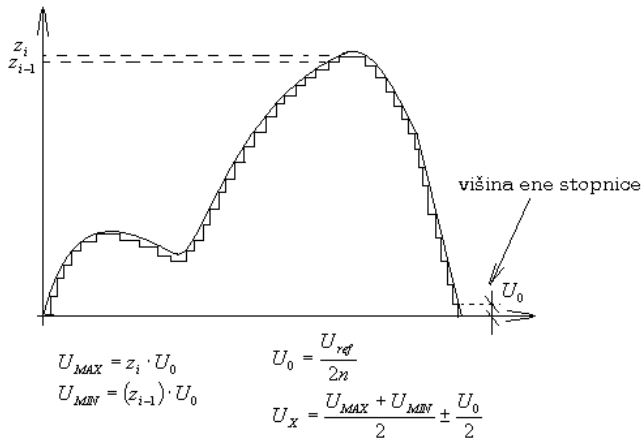
- Osnovno enosmerno vezje, merilna negotovost
- Avtomatski kompenzator s komparatorjem, DA pretvornikom in digitalnim krmiljenjem

a.)



b.)



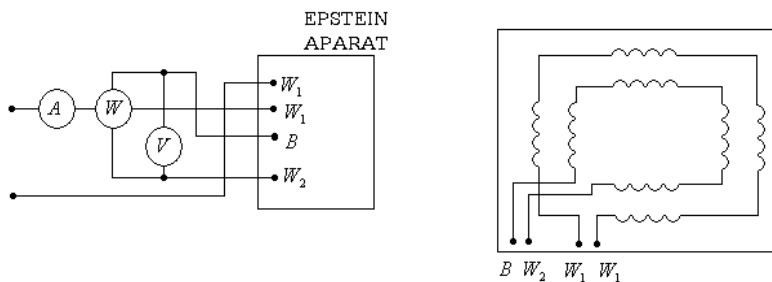


Kompenzirano stanje se samodejno vzpostavi.
Primerjalnik K, D/A pretvornik, števec, digitalno krmilno vezje

37.) Magnetna merjenja:

- Epsteinov aparat, izvedba
- Merjenje in izračun izgub v železu

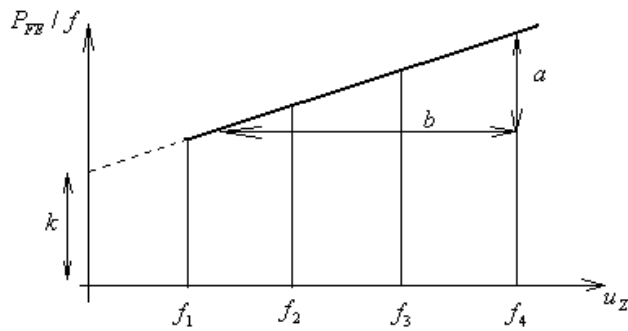
a.)



Rabimo ga za merjenja v izmeničnem mag. polju (izgub v železu). Merjenje z njim je mednarodno standardizirano. Sestavljen je iz 4 primarnih in sekundarnih tuljav v katere zložimo pločevinaste trakove z dvojnimi prekrivanjem brez dodatne izolacije. Tako dobimo sklenjen mag. krog.

Padci napetosti na tuljavi so majhni. V sredini ima vgrajen zračni trafo z medsebojno induktivnostjo, ki omogoča kompenzacijo mag. pretoka ob vzorcu. Pred merjenjem ne sme biti namagnetan.

b.)



$$S = \frac{m}{4 \cdot l \cdot \zeta} [m^2]$$

$$P_W = k_W \cdot \alpha_W \cdot P_I$$

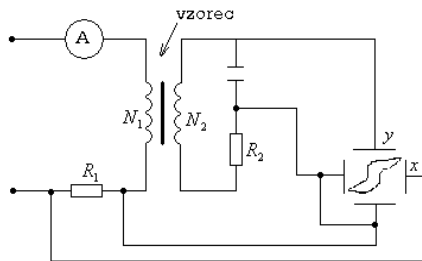
$$m^* = k \cdot m$$

k.....korekcijski faktor
zaradi prekrivanja
pločevin

$$P_{Fe} = \frac{P_W - \frac{U_2^2}{R_p}}{m^*} [W / kg]$$

38.) Snemanje histerezne zanke z OSC.:

- Snemanje histerezne zanke z osciloskopom, vezalna shema, izračun H,B



Napetost na R_1 je speljana na x odklon, ki predstavlja mag. jakost H.

Padec napetosti na C pa odklanja žarek vertikalno in daje informacijo o gostoti mag. pretoka B.

$$H = \frac{k_x \cdot N_1}{R_1 \cdot l_{sr}} \left[\frac{A}{m} / delec \right]$$

$$B = \frac{k_y \cdot C \cdot R_2}{N_2 \cdot A} [T / delec]$$

$$p_x = \frac{2 \cdot B_{sr} \cdot H_{sr} \cdot f}{\zeta} [W / kg]$$

spec. izgube p_x

k_xnapet. odklonska konstanta v x-osi

N_1število obojev

l_{sr}srednja dolžina silnic

k_y napet. odklonska konstanta v x-osi

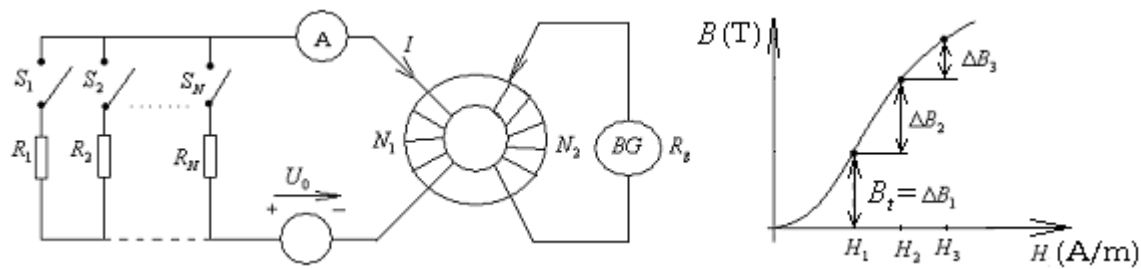
R_zskupna ohmska upornost sekundarnega kroga

A.....presek jedra

39.) Snemanje statične magnetilnice:

- Določanje poteka magnetilne krivulje z enosmernim tokom (z balističnim galvanometrom), izračun H,B

Kadar želimo ugotoviti potek deviške magnetilnice, moramo preizkušani material predhodno razmagnetiti (doseči $B=0, H=0$).



Z vklapljanjem stikal se poveča tok $I \dots I_n$ in mag. polj. Jakost $H \dots H_n$.

Točke na krivulji dobimo postopoma od prve do n-te točke. Vklapljenih uporov ne izklapljamemo oz. meritve ne prekonjamo.

$$H_K = \frac{I_K \cdot N_1}{l_{sr}}$$

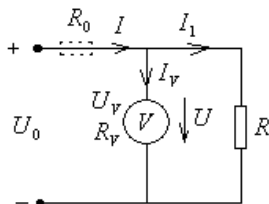
$$l_{sr} = 2 \cdot \Pi \cdot \frac{R_Z - R_N}{2} \text{ (za krog)}$$

$$\Delta B_K = \frac{C_b \cdot \alpha}{N_2 \cdot A} (R_2 + R_g)$$

40.) Merjenje U,I:

- Vezava instrumentov, določanje pogreškov merilne metode

U:



Z V-m:

$$U = U_0 \cdot \frac{R_V \parallel R}{R_V \parallel R + R_0}$$

$$U = U_V = U_0 \cdot \frac{R_V \cdot R}{R_V \cdot R + R_0 \cdot R_V + R \cdot R_0}$$

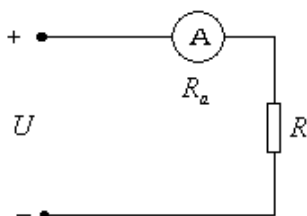
Brez V-m:

$$U = I \cdot R = \frac{U_0}{R_0 + R} \cdot R$$

$$\text{pogrešek } e_V = \frac{U_V - U}{U}$$

$$e_V = - \frac{R \cdot R_0}{R_V \cdot R + R_0 \cdot R_V + R \cdot R_0}$$

I:



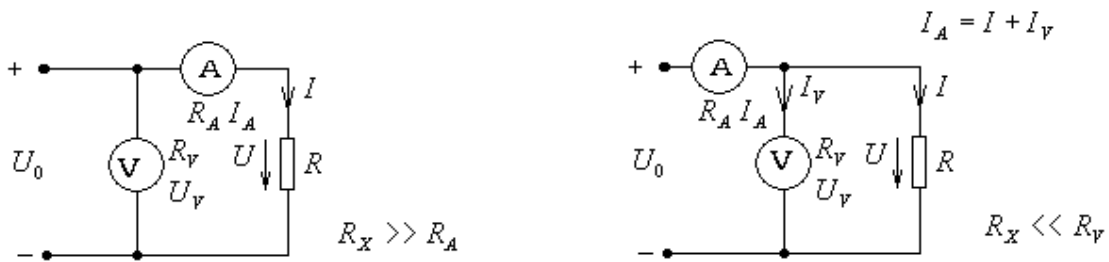
$$I_A = \frac{U}{R_A + R}$$

$$\frac{I_A - I}{I} = e_I = - \frac{R_A}{R_A + R} \text{ pogrešek}$$

$$e_I = \frac{I_A - I}{I} = - \frac{R_A}{R_A + R}$$

41.) Merjenje U,I:

- Istočasno merjenje U in I, primernost različnih priključitev instrumentov



manjši tokovi, višje napetosti

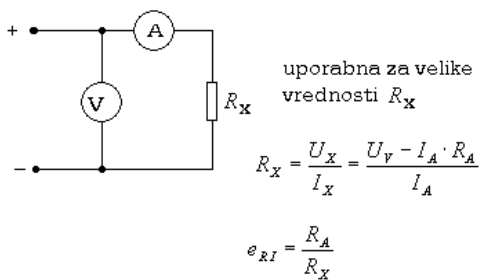
nižje napetosti, višji tok

$$e = \frac{R_A}{R_X} \leftarrow \text{SISTEMATSKI POGREŠEK} \rightarrow e = \frac{R_X}{R_X + R_V}$$

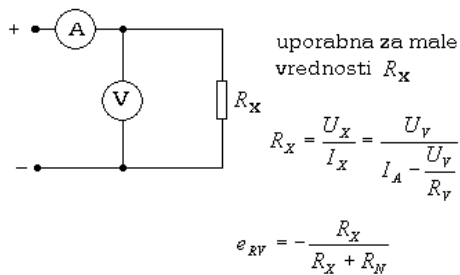
42.) Merjenje R:

- Uporaba U-I metode, primernost posameznih vezav, pogoški merilnih metod

I-vezava:

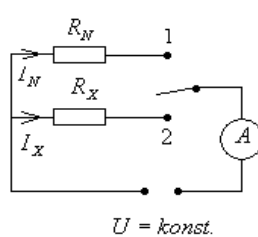


U-vezava:



Primerjalni metodi:

Tokovna:



$$1.) R_A + R_N = \frac{U}{I_N}$$

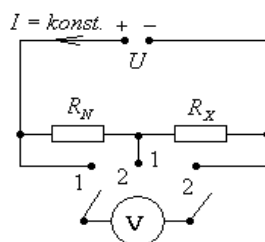
$$2.) R_A + R_X = \frac{U}{I_X}$$

$$I_X = I_N$$

$$R_X \doteq \frac{I_N}{I_X} \cdot R_N$$

Primerna za velike upornosti, natančnost povečamo če je R_N blizu R_X .

Napetostna:



$$U_X = U_N$$

$$U_N = I(R_N \parallel R_V)$$

$$U_X = I(R_X \parallel R_V)$$

$$R_X \doteq \frac{U_X}{U_N} \cdot R_N$$

$$R_V \gg R_N, R_X$$

Metoda je primerna za majhne upornosti.

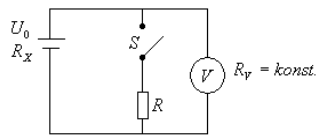
43.) Merjenje R:

- Merjenje upornosti galvanskih členov (z merjenjem U, z merjenjem I)
- Merjenje z Nernstovim mostičem

Pri merjenju galvanskih elementov ne rabimo vira napajanja. Tok spreminja upornost, zato mora biti obremenitev konst.!

a.)

NAPETOSTNA:



$$U_{V_1} = U_{V_2}$$

1.) prva meritev pri odprtem stikalu

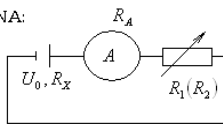
$$U_{V_1} = U_0$$

2.) vklopljeno stikalo, vir obremenjen

$$U_{V_2} = U_0 - I \cdot R_X = U_{V_1} - \frac{U_{V_1}}{R_X + R} \cdot R_X$$

$$R_X = \frac{R \cdot (U_{V_1} - U_{V_2})}{U_{V_2}}$$

TOKOVNA:



1.) I_1 pri R_1

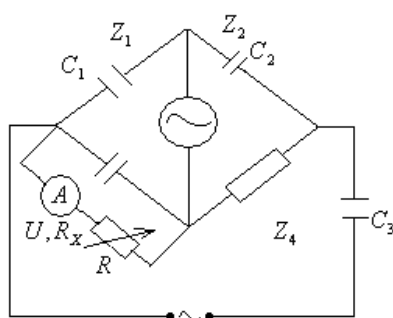
$$U_0 = I_1 \cdot (R_X + R_A + R_1)$$

2.) I_2 pri R_2

$$U_0 = I_2 \cdot (R_X + R_A + R_2)$$

$$R_X = \frac{I_1 \cdot (R_A + R_2) - I_2 \cdot (R_A + R_1)}{I_1 - I_2}$$

b.) Nernstov mostič:



C_3 služi da se enosmerna veličina ne zaključuje preko napajalnika.

$$R_X = \frac{R_N \cdot C_1}{C_2 - \frac{R_N}{R_A + R}}$$

$$Z_1 \cdot Z_4 = Z_2 \cdot Z_3$$

$$R_N \left(-j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_1} \right) = \left(-j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_2} \right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_A + R}} \right)$$

$$\frac{R_N}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{\omega \cdot C_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_A + R}}$$

$$\frac{R_N \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_A + R}}}{\omega \cdot C_1} = \frac{1}{\omega \cdot C_2}$$

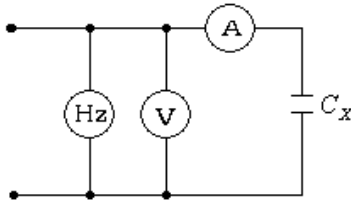
$$R_N = \left(\frac{1}{R_X} + \frac{1}{R_A + R} \right) = \frac{C_1 \cdot \omega}{C_2 \cdot \omega}$$

$$\frac{R_N}{R_X} + \frac{R_N}{R_A + R} = \frac{C_1}{C_2}$$

44.) Merjenje C_x :

- Merjenje z U,I,f metodo
- Merjenje kapacitivnosti elektrolitskih kondenzatorjev

a.)

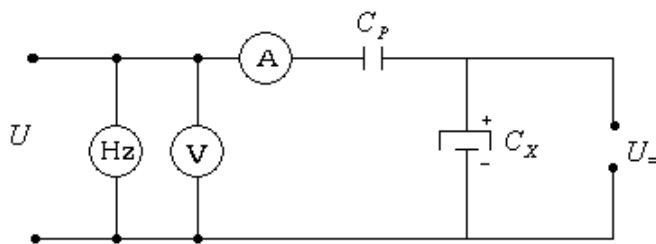


$$x_C = \frac{1}{\omega \cdot C_x} = \frac{U_V}{I_A}$$

$$\omega \cdot C_x = \frac{I_A}{U_V}$$

$$C_x = \frac{I_A}{\omega \cdot U_V} = \frac{I_A}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_V}$$

b.)



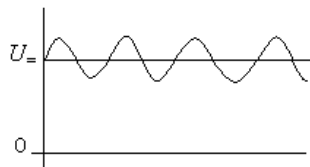
$$C_N = \frac{I_A}{\omega \cdot U_V} = \frac{I_A}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_V}$$

$$C_N = \frac{C_P \cdot C_X}{C_P + C_X}$$

$$C_X = \frac{C_N \cdot C_P}{C_P - C_N}$$

Zelo pomembna je polariteta. R preprečuje, da bi se enosm. tokokrog sklenil čez izmenični, C_p pa loči izmenični del od enosmernega.

Če na elektrolit 100V priklopimo 80V je razmerje $U_+ = 0,8 \cdot U_n$

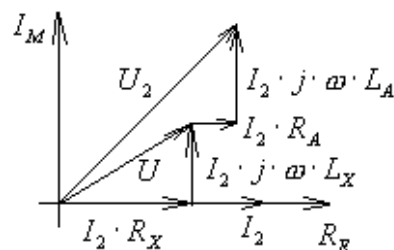
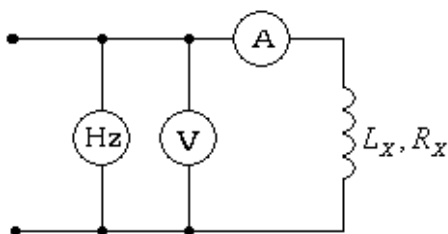


45.) Merjenje L_x :

- Merjenje z U,I,f metodo, z Fe jedrom, brez Fe jedra
- Resonančna merilna metoda

a.)

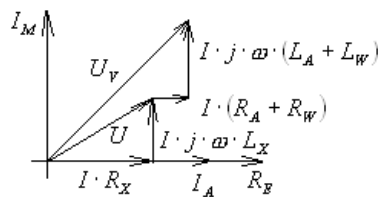
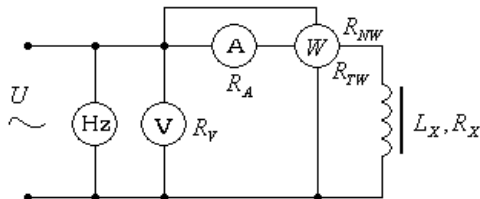
Brez Fe-jedra:



$$x_L = \omega \cdot L_x$$

$$L_x = \sqrt{\left(\frac{U}{I}\right)^2 - R_x^2} \cdot \frac{1}{\omega}$$

Z Fe-jedrom:



$$U_L = \sqrt{U_V^2 - U_R^2}$$

$$P_W = I^2 \cdot (R_{TW} + R_X)$$

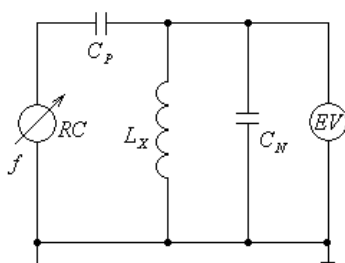
(W) je merilnik delovne moči.

Nastajajo dodatne izgube zaradi magnetenja (ohmske izgube zaradi magnetenja z enosm. tokom).

$$L_X = \frac{U_L}{\omega \cdot I_A} = \frac{\sqrt{U_V^2 - I_A^2 \cdot \left(R_A + \frac{P_W}{I_A^2} \right)^2}}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot I_A}$$

b.)

Resonančna metoda:

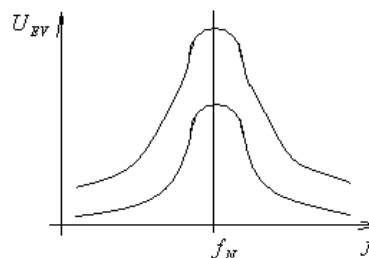


$$\omega_0^2 = \frac{1}{L_X \cdot C_N}$$

$$\omega_0^2 \cdot L_X \cdot C_N = 1$$

$$L_X = \frac{1}{C_N \cdot \omega_0^2}$$

$$L_X = \frac{1}{C_N \cdot (2 \cdot \Pi \cdot f_N)^2}$$



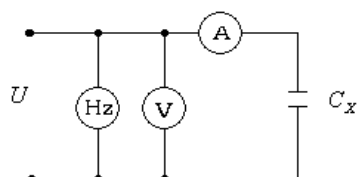
Ker so RC napetostni generatorji vzamemo en velik upor ali mali kondenzator, da dobimo konst. I.

Resonanco dobimo pri max. odklonu!

46.) Merjenje C_x :

- Merjenje z U,I,f metodo
- Resonančna merilna metoda

a.)



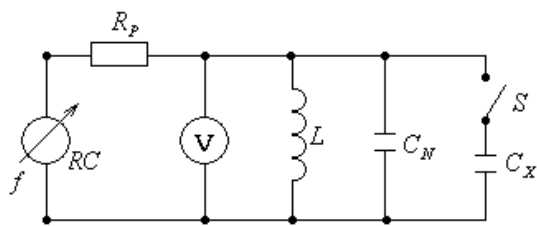
$$C_X = \frac{1}{\omega \cdot U} = \frac{1}{2 \cdot \Pi \cdot f \cdot U}$$

$$x_C = \frac{1}{\omega \cdot C_X} = \frac{U_V}{I_A}$$

$$\begin{array}{c} C_0 \\ | \\ R_0' \end{array} \Rightarrow \text{tg} \delta = \omega \cdot C_0 \cdot R_0' \quad x_C = \frac{1}{\omega \cdot C_X} = \frac{U_V}{I_A}$$

$$\begin{array}{c} C_0 \\ | \\ R_0'' \end{array} \Rightarrow \text{tg} \delta = \frac{1}{\omega \cdot C_0 \cdot R_0''} \quad C_X = \frac{I_A}{\omega \cdot U_V}$$

b.)



$$C_X = C_{M1} - C_{N2}$$

Je primerna za merjenje kapacitivnosti pri visokih frek.
 Pri odprtem stikalu S poiščemo resonanco nihajnega kroga takrat bo odklon na V-metru maksimalen, odčitamo C_{M1} .
 Preklopimo stikalo v položaj 2 in s spreminjanjem C_N poiščemo resonanco nihajnega kroga $L-C_N \parallel C_X$ in odčitamo C_{N2}

S_1 odprto \Rightarrow resonanca nihajnega kroga, odklon na V-m maksimalen.

Odčitamo kapacitivnost C_{N1} .

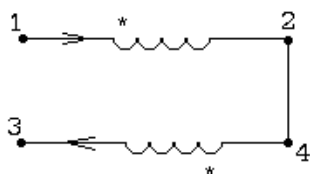
S_2 zaprto \Rightarrow spreminjamo kapacitivnost C_{N2} in poiščemo resonanco drugega nihajnega kroga.

Odčitamo C_{N2} .

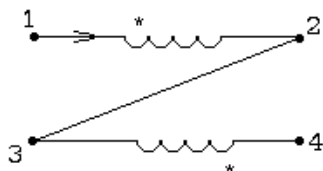
47.) Merjenje M_x :

- Določanje M_x s pomočjo merjenja nadomestnih induktivnosti
- Merjenje z balistično metodo, vezalna shema, opis postopka, izračun

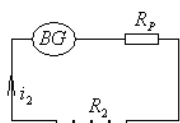
a.)



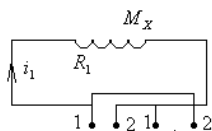
$$\left. \begin{aligned} L' &= L_1 + L_2 + 2M_x \\ L'' &= L_1 + L_2 - 2M_x \end{aligned} \right\} \begin{aligned} L' - L'' &= 4M_x \\ M_x &= \frac{L' - L''}{4} \end{aligned}$$



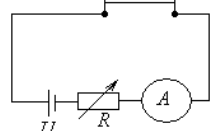
b.) Balistična metoda:



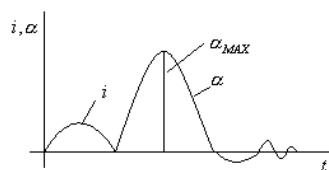
(BG) - balistični galvanometer, merilec naboja



$$R_{SK} = R_2 + R_G + R_P$$



$$M_x = \frac{C_s \cdot \alpha}{2 \cdot I_1} \cdot (R_2 + R_G + R_P)$$

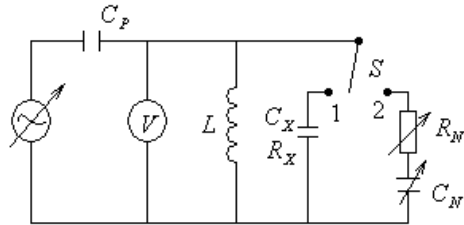


$$i_2 = \frac{U_{ZH}}{R_2 + R_G + R_P}$$

48.) Merjenje C_X :

- Metoda za določanje $\text{tg}\delta$ kondenzatorjev

Resonančna:



C_N - ima zanemarljive izgube $\text{tg}\delta \approx 0$

S_1 - spreminjamo f dokler ne dobimo resonance

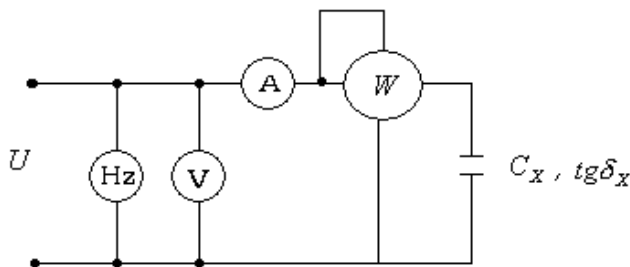
S_2 - pri isti f poiščemo resonance s spreminjanjem C_N nato pa z R_N najdemo enako amplitudo prejšnji

$$C_X = C'_N$$

$$R_X = R'_N$$

$$\text{tg}\delta = \omega_0 \cdot R_X \cdot C_X = \omega_0 \cdot R'_N \cdot C'_N$$

Resonančna metoda za merjenje izgubnega faktorja. V položaju 1 spreminjamo frekvenco, dokler ne dobimo največjega odklona na V-metru, kar pomeni, da smo poiskali resonančno frekvenco. V položaju 2 poiščemo resonance pri nespremenjeni frek., spreminjamo kapacitivne in uporovne decade.



$$\text{idealno } P_X = P_W$$

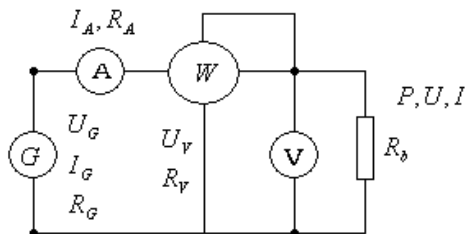
$$\text{tg}\delta = \frac{P_X}{Q_X}$$

$$S_X = U_X \cdot I_X$$

$$Q = \sqrt{S_X^2 - P_X^2} = \sqrt{(U_V \cdot I_A)^2 - P_W^2}$$

49.) Merjenje moči:

- Merjenje enosmerne moči z U-I metodo
- Primernost različnih vezav



$$P = U \cdot I$$

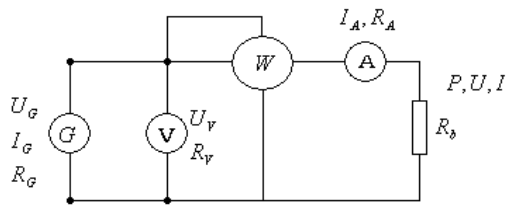
$$P_G = U_G \cdot I_G$$

$$P_i = U_V \cdot I_A$$

P - manjši I , večja U

P_G - večji I_G , nižja U

$$e_G = \frac{P_i - P_G}{P_G}$$



$P -$ nižja U , večji I
 $P_G -$ višja U_G , manjši I_G
 $e = \frac{P_{MST} - P}{P}$

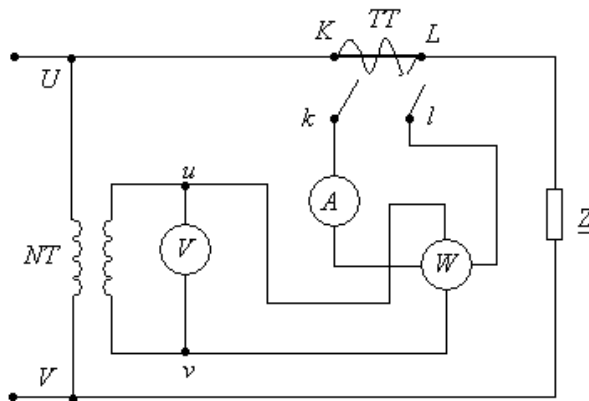
$$P_W = k_W \cdot \alpha_W$$

$$P_W = P \quad (\text{zanemarimo porabo instrumenta})$$

Do velikih napak pride, če je ena veličina tako majhna, da pri W -m ne pride do odklona.

50.) Merjenje moči:

- Indirektno merjenje delovne moči v izmeničnih sistemih
- Določanje merilne negotovosti, upoštevajoč vse vplive



$$\text{Delovna moč: } P_D = k_W \cdot \alpha_W \cdot p_{NT} \cdot p_{TT}$$

Dodani elementi (NT, TT) povečajo merilno negotovost, nekaj pa prispeva tudi kotni pospešek (TT in NT)

Negotovost merilnih transformatorjev pri merjenju delovne moči:

$$e_\xi = \pm \frac{\Pi}{10800} \cdot \xi \cdot \text{tg} \varphi$$

$$\xi = \xi_{NT} + \xi_{TT}$$

Če je breme jalovo je tudi pogrešek zelo velik (ker je velik tudi $\text{tg} \varphi$)

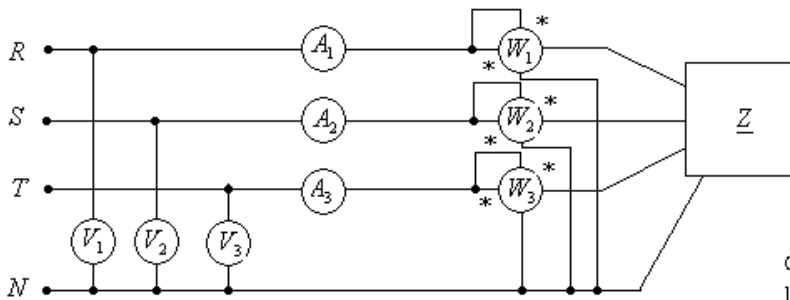
$$e_{\text{TRANSF}} = \pm (|e_{NT}| + |e_{TT}| + |e_\xi|)$$

$$P = k_W \cdot \alpha_W \cdot p_{NT} \cdot p_{TT} \cdot (1 \pm |e_W| + |e_{NT}| + |e_{TT}| + |e_\xi|)$$

51.) Merjenje moči:

- Merjenje delovne moči v trifaznih štirivodnih sistemih
- Merjenje delovne moči v trifaznih trivodnih sistemih

4 vodni:



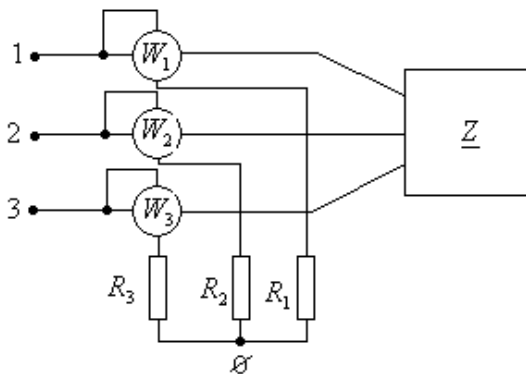
$$S = U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2 + U_3 \cdot I_3$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Če bi bila obremenitev simetrična bi lahko merili samo z enim W-mwtrom.

3 vodni:



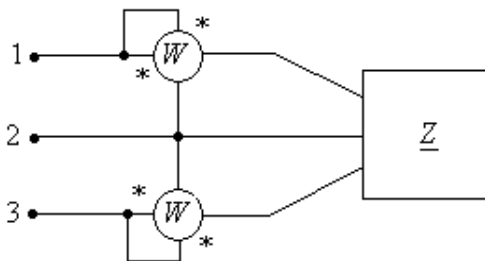
$$P = P_{W1} + P_{W2}$$

Upori R_1, R_2, R_3 so za zaščito W-metra in niso potrebni če je napetostno območje le te dovolj veliko. Za 0 mora veljati:
 $R_{W1} + R_1 = R_{W2} + R_2 = R_{W3} + R_3$
 Z temi predupori se spremeni tudi k_W !
 Sprememba napetostnega območja W-m je drugačna tudi k_W !

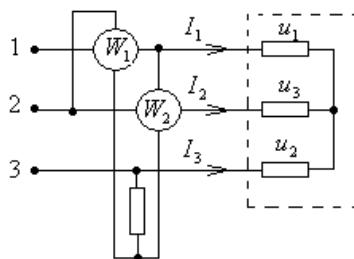
52.) Merjenje moči (Aronova):

- Merjenje delovne moči z Aronovo vezavo
- Merjenje jalove moči z Aronovo vezavo

a.)



b.)



$$\Delta = P_2 - P_1 = U \cdot I \cdot \cos(\varphi - 30^\circ) - U \cdot I \cdot \cos(\varphi + 30^\circ)$$

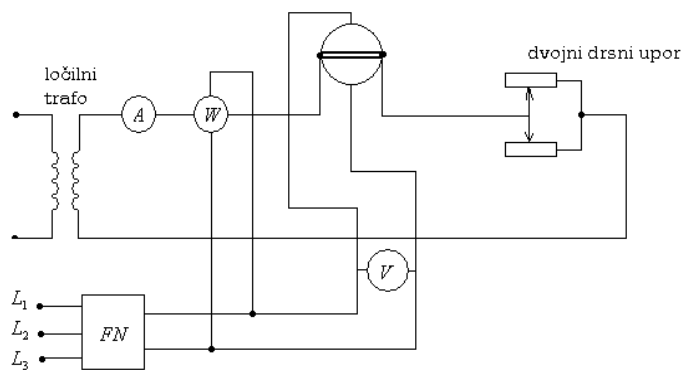
$$\Delta = 2 \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \cdot \sin 30^\circ = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot \Delta = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot (P_2 - P_1)$$

53.) Kontraola števecv energije:

- Vezalna shema priključitve
- Izvedba preizkusov
- Izračun potrebnih podatkov



$$W_p = k_w \cdot \alpha_w \cdot t \quad [Ws]$$

prava vrednost

$$W_i = \frac{n \cdot 3600 \cdot 1000}{C} \quad [Ws]$$

izmerjena vrednost

$$e = \frac{W_i - W_p}{W_p} \cdot 100\%$$

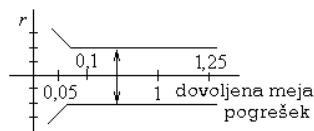
pogrešek števca

Preizkus zagona:

Rotor števec se mora začeti vrteti pri $0,5\% I_N U_N \cos \varphi = 1$ in mora narediti vsaj en obrat.

Preizkus praznega toka:

Pri napetostih med $80\% - 110\% U_N$ rotor ob izključitvi tokovnega kroga ne sme narediti polnega obrata in se mora ustaviti v položaju, da je vidna značka na rotorju.



54.) Pretvorniki neelektričnih veličin v električne veličine:

- Delitev pretvornikov
- Najpogostejše vrste pretvornikov

Pasivni:

- uporovni
- induktivni (potrebujejo dodatno napajanje)
- kapacitivni
- fotouporovni

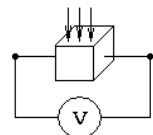
Aktivni:

- indukcijski
- termoelektrični
- fotopretvorniški
- galvanski
- piezoelektrični

Veličine pretvarjamo v električne, ker so ta merjenja bolj natančna. Najpogosteje pretvarjamo tlak, temp., silo.

Najpogostejši pretvorniki so:

- uporovni termometer (na osnovi spremembe upornosti žice izmerimo temp. spremembo);
- raztezni merilni listič (uporovna žica je nameščena na nosilno foljo v vijugasti obliki, ko se upogne pride do spremembe upornosti);
- piezoelektrični pretvorniki (če kristal piezo obrnemo z neko silo-tlak, se na njegovih valovih ustvari nek naboj-napetost);



- indukcijski pretvornik (za merjenje pompa imamo tuljavo, v kateri je železno jedro, ki se premika in spreminja induktivnost tuljave);