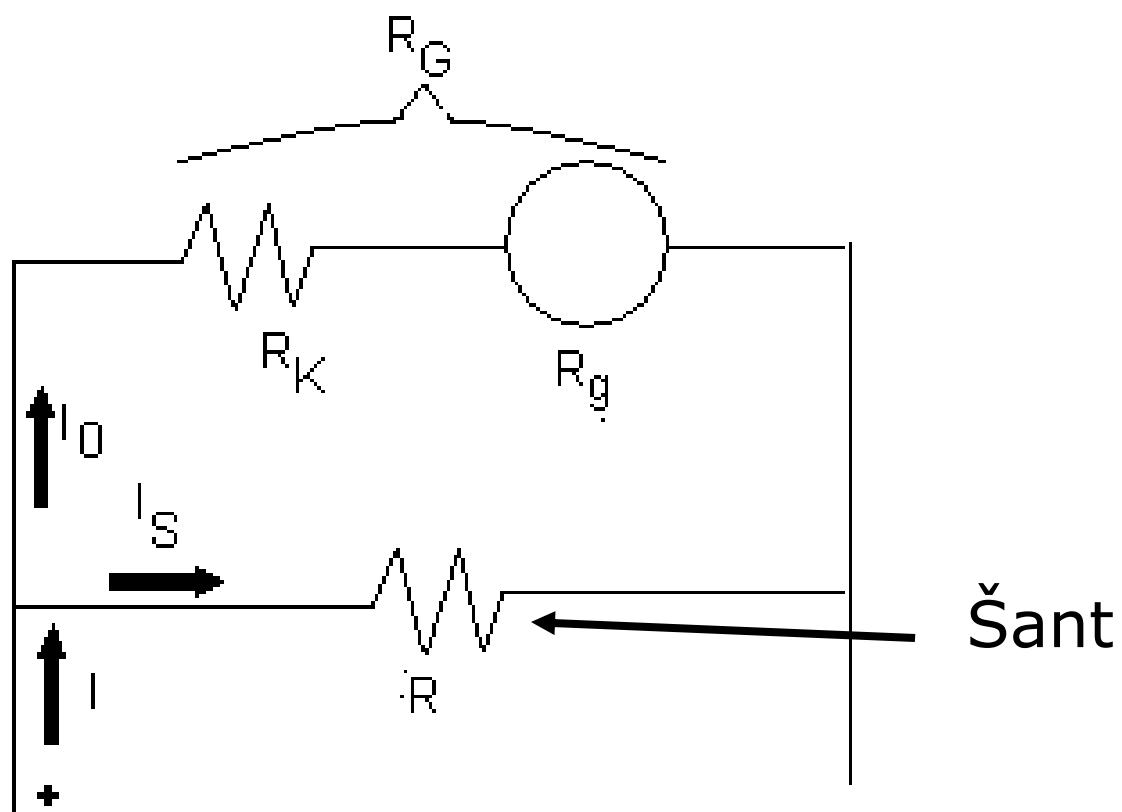


Merenje električnih veličina

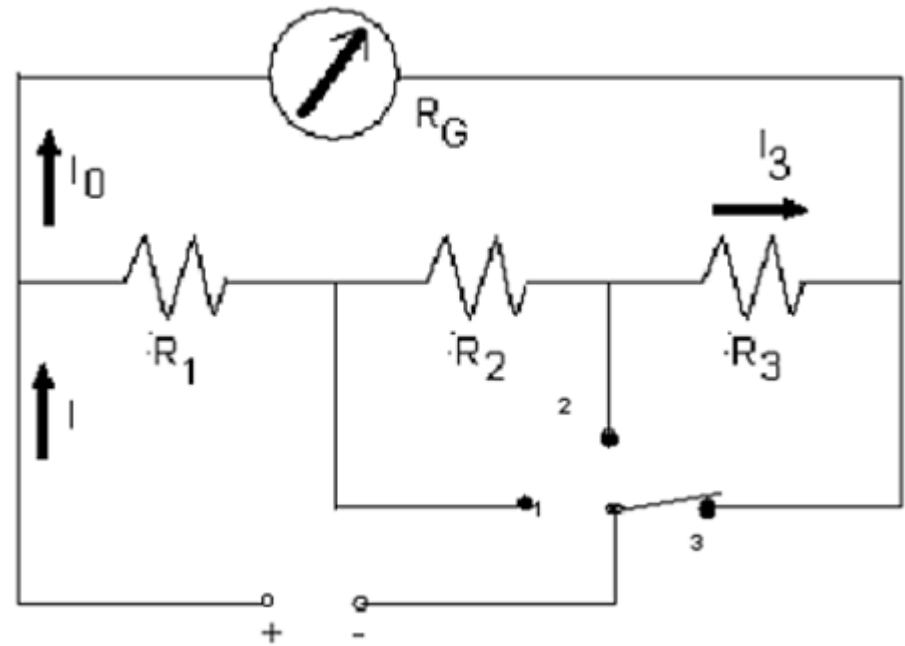
Opšte

Ampermeter



Eyrtonov šant

$$I_3 + I_0 = I$$

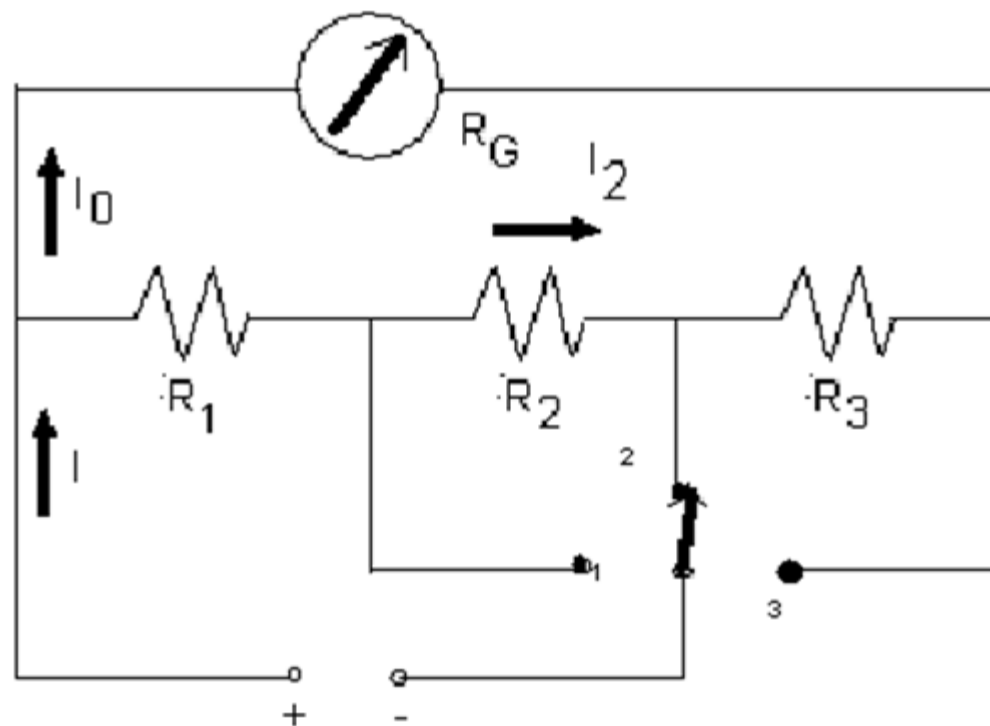


$$(R_1 + R_2 + R_3)I_3 = R_G I_0$$

Položaj 3

$$I_{\max}(\text{pol } 3) = \left(\frac{R_G}{R_1 + R_2 + R_3} + 1 \right) I_{0\max}$$

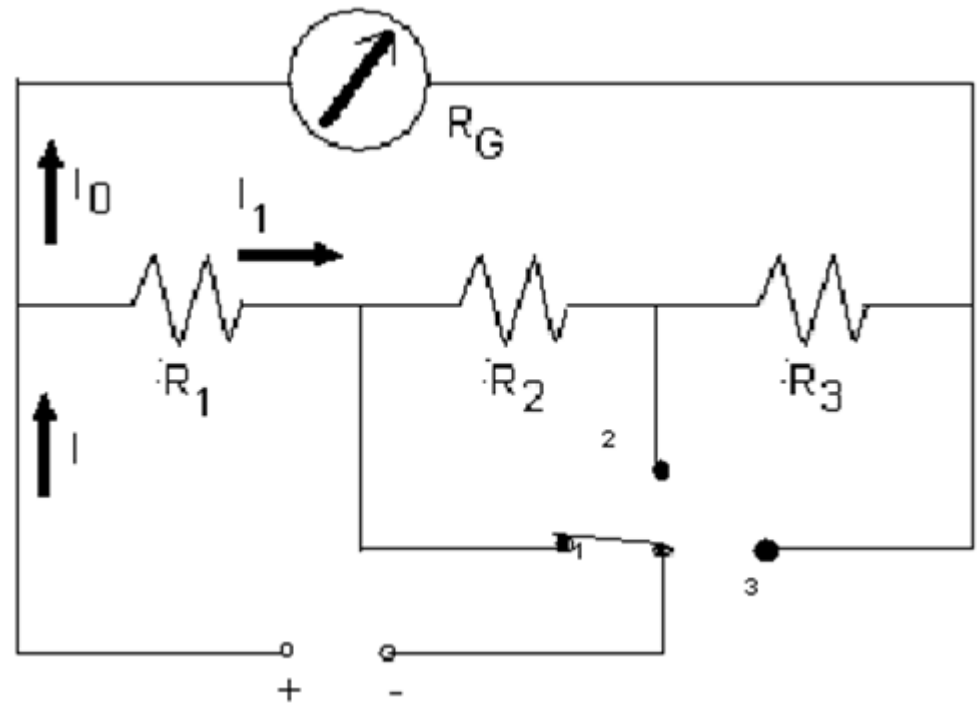
Eyrtonov šant



$$I_{\max} (pol\ 2) = \left(\frac{R_G + R_3}{R_1 + R_2} + 1 \right) I_{0\max}$$

Položaj 2

Eyrtonov šant

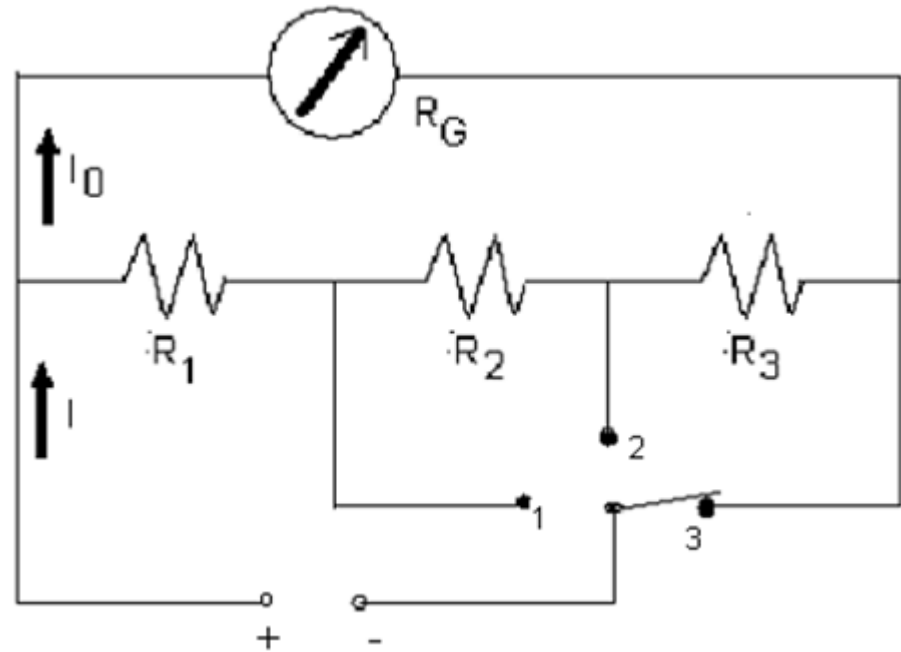


$$R_1 I_1 = (R_2 + R_3 + R_G) I_0$$

$$I_{\max}(\text{pol } 1) = \left(\frac{R_G + R_3 + R_2}{R_1} + 1 \right) I_{0\max}$$

Položaj 1

Eyrtonov šant



$$I_{\max}(\text{pol } 3) = \left(\frac{R_G}{R_1 + R_2 + R_3} + 1 \right) I_{0\max}$$

$$I_{\max}(\text{pol } 2) = \left(\frac{R_G + R_3}{R_1 + R_2} + 1 \right) I_{0\max}$$

$$I_{\max}(\text{pol } 1) = \left(\frac{R_G + R_3 + R_2}{R_1} + 1 \right) I_{0\max}$$

Opšte napomene

Pri merenju struje važno je poštovati sledeća pravila:

- 1) ampermetar vezivati redno u merno kolo;
- 2) poštovati polaritet priključaka;
- 3) na početku merenje ampermeta postaviti u opseg za merenje najvećih struja, a zatim po potrebi smanjivati opseg;
- 4) merenje obavljati u poslednjoj trećini skale.

Opšte napomene pri merenju struje analognim ampermetrom

Ampermetri se prave za različite opsege merenja od $0.1 \mu\text{A}$ do 20 A , a za posebne potrebe i za mnogo veće opsege.

Za merenje većih struja tzv. *šant* otpornik se postavlja van kućišta, dok je za manje struje *šant* u kućistu instrumenta.

Klasa tačnosti ampermetra sa pokretnim kalemom je uobičajeno u opsegu 0.1 do 2.5.

Ampermetar

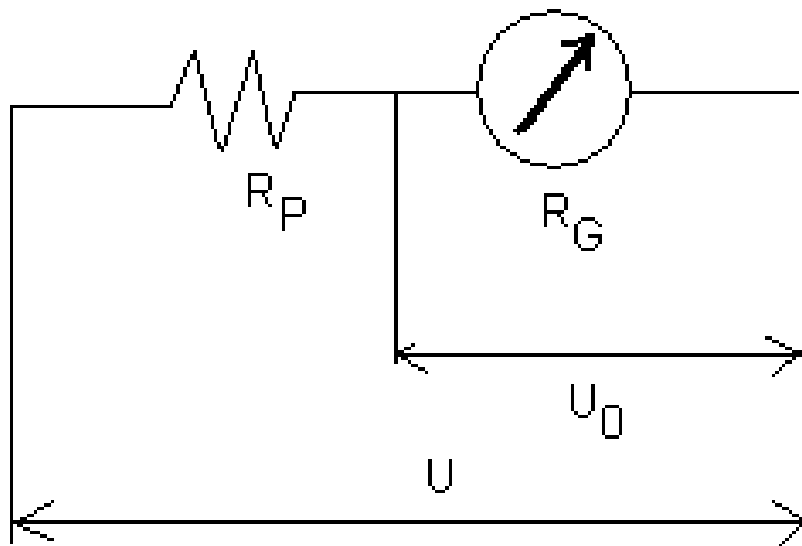


VOLTMETAR

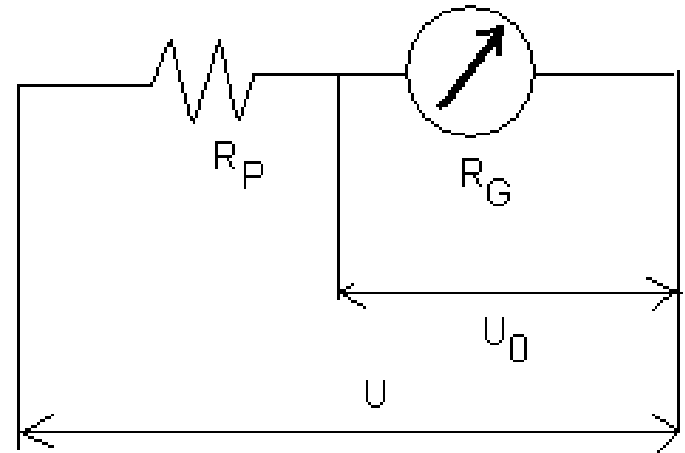
Svaki ampermetar se može koristiti za merenje jednosmernog napona, ali je potrebno povećati unutrašnju otpornost instrumenta.

Merenje napona se vrši paralelno potrošaču, pa je potrebno da unutrašnja otpornost instrumenta bude mnogo veća od otpornosti potrošača, da bi struja kroz potrošač bila nepromenjena.

VOLTMETER



Voltmetar



Naponski opseg samog ampermetra za jednosmernu struju je $U_0 = R_G I_0$, pa koristeći napred navedene vrednosti za maksimalnu struju otklona I_0 i unutrašnju otpornost instrumenta R_G dobijamo U_0 u opsegu koji je manji od 1 V.

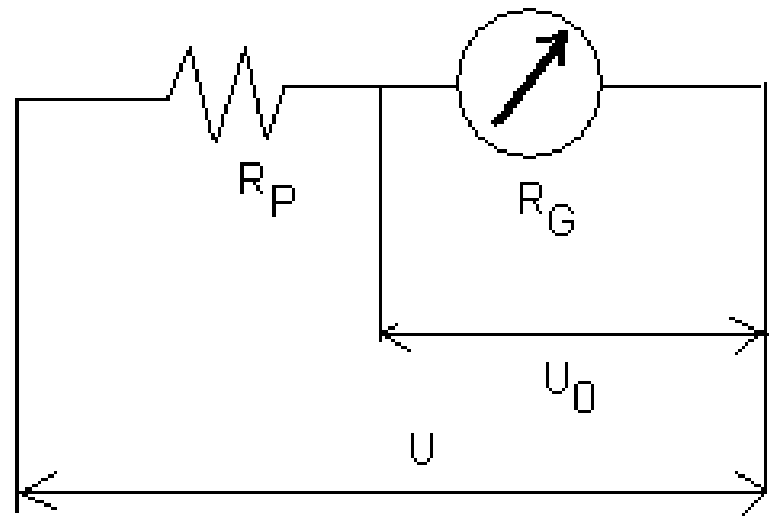
Sa priključenim otporom R_P je

$$U = (R_P + R_G) I_0$$

Voltmetar

$$U = (R_p + R_G) I_0$$

$$R_p = \frac{U}{I_0} - R_G$$



Proračun otpornosti za proširenje
opsega voltmetra

Voltmetar

$U_0 = R_G I_0$ je napon punog otklona ampermetra za jednosmernu struju sa pokretnim kalemom.

Količnik R_G / U_0 (Ω/V) nazivamo "***karakteristična otpornost***" voltmetra = otpornost pred-otpornika kojim se postiže puno skretanje mernog opsega voltmetra za 1 V.

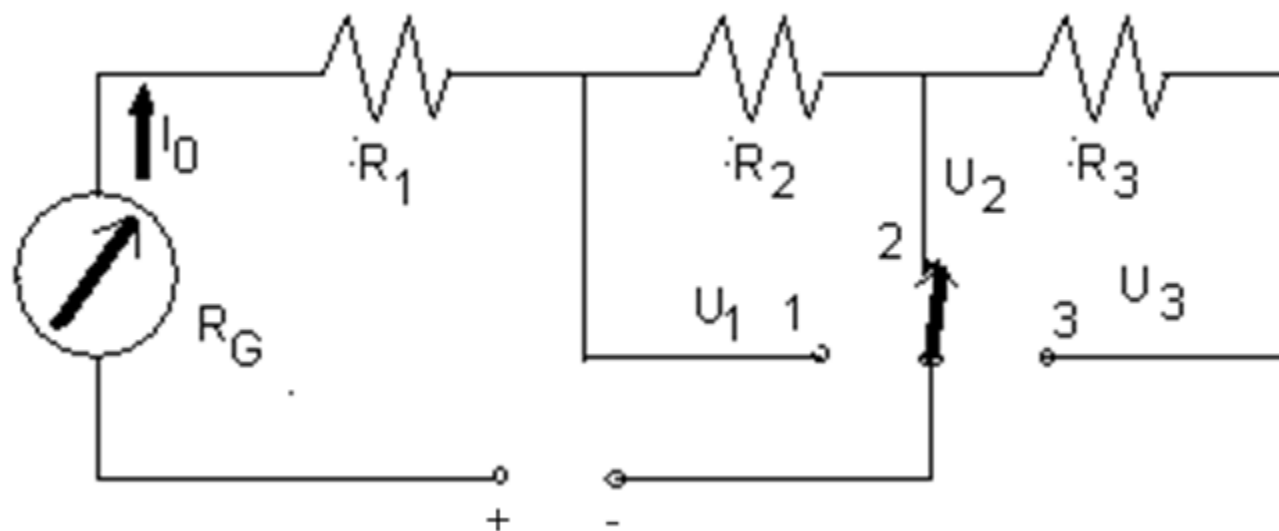
Tipične vrednosti karakteristične otpornosti su izmedju 200 Ω/V do 200 $k\Omega/V$, koje odgovaraju struji punog otklona od 5 mA do 5 μA .

Merni opseg voltmetra

Slično ampermetrima i voltmetri se prave tako da rade u više opsega, a na slici je prikazana najčešća šema povezivanja pred-otpornika.

Treba koristiti što je veću moguću otpornost voltmetra da se ne bi menjao režim rada u strujnom kolu u kome se meri napon, ali to vodi skretanju u prvoj trećini skale (najveće greške), pa zato treba meriti napon u više opsega i proceniti grešku koju unosi voltmetar pri merenju.

Eyrtonov
predotpor

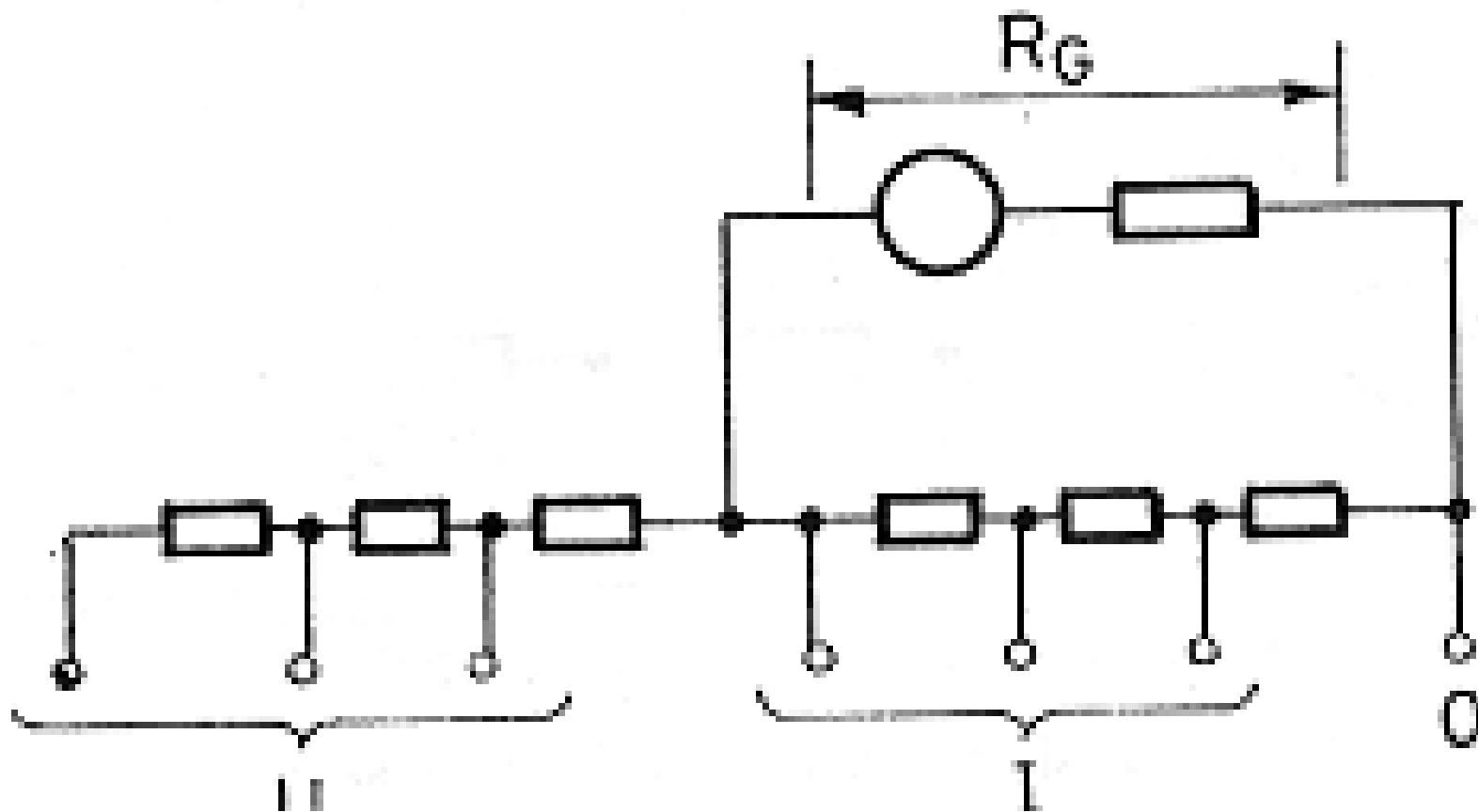


$$U_{\max}(\text{položaj } 3) = (R_1 + R_2 + R_3 + R_G)I_{0\max}$$

$$U_{\max}(\text{položaj } 2) = (R_1 + R_2 + R_G)I_{0\max}$$

$$U_{\max}(\text{položaj } 1) = (R_1 + R_G)I_{0\max}$$

Eyrtonov šant/predotpor
(multimeter)



Voltmetar sa pokretnim kalemom

Opseg je uobičajeno izmedju 50 mV do 500 V sa predotpornicima koji su ugradjeni u kućište, dok se za merenje većih napona koriste posebni priključci na voltmetru koji omogućuju primenu spoljnih predotpornika.

Klasa tačnosti je uobičajeno od 0.1 do 2.5.

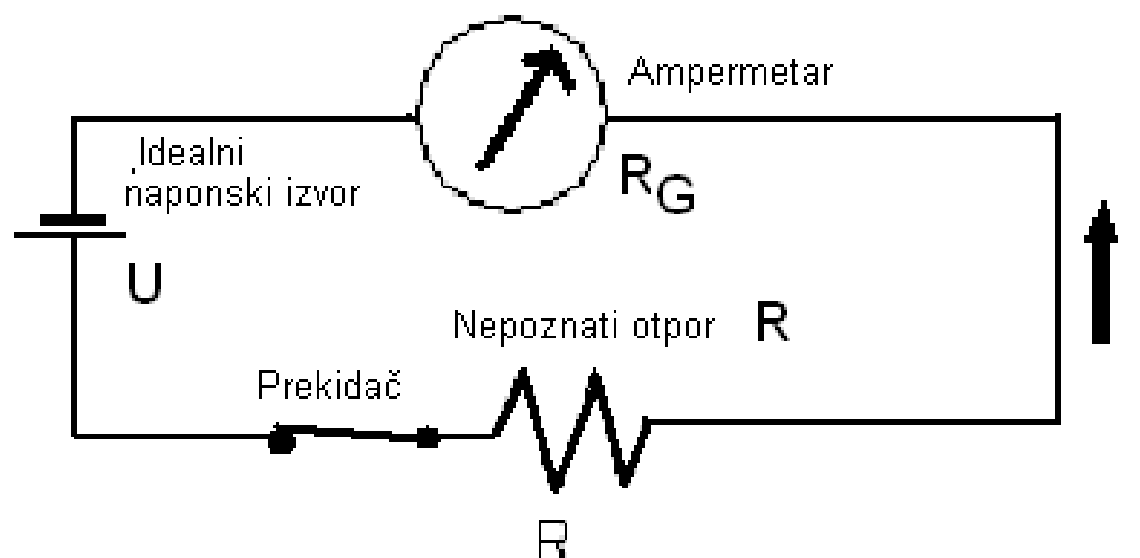
Pri merenju treba uvek voditi računa o polaritetu

Merenja treba početi sa preklopnikom u položaju koji omogućuje merenje najvećih napona tj. na najvećem opsegu.

Ommetar

Ukoliko se u rednom električnom kolu nalaze: 1) izvor koji se ponaša kao idealan naponski izvor, 2) ampermetar, i 3) otpornik

Skretanje kazaljke zavisi samo od vrednosti otpornika: $I=U/R$.

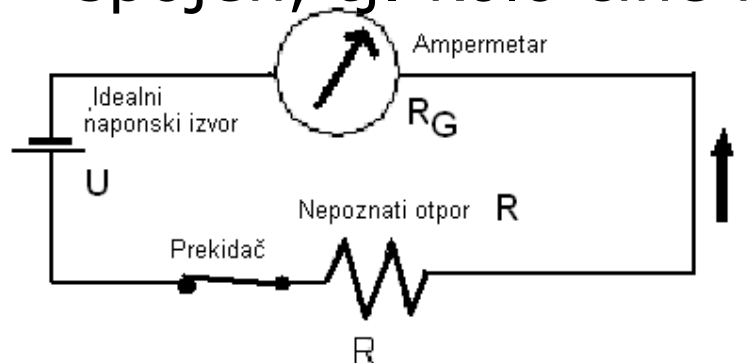


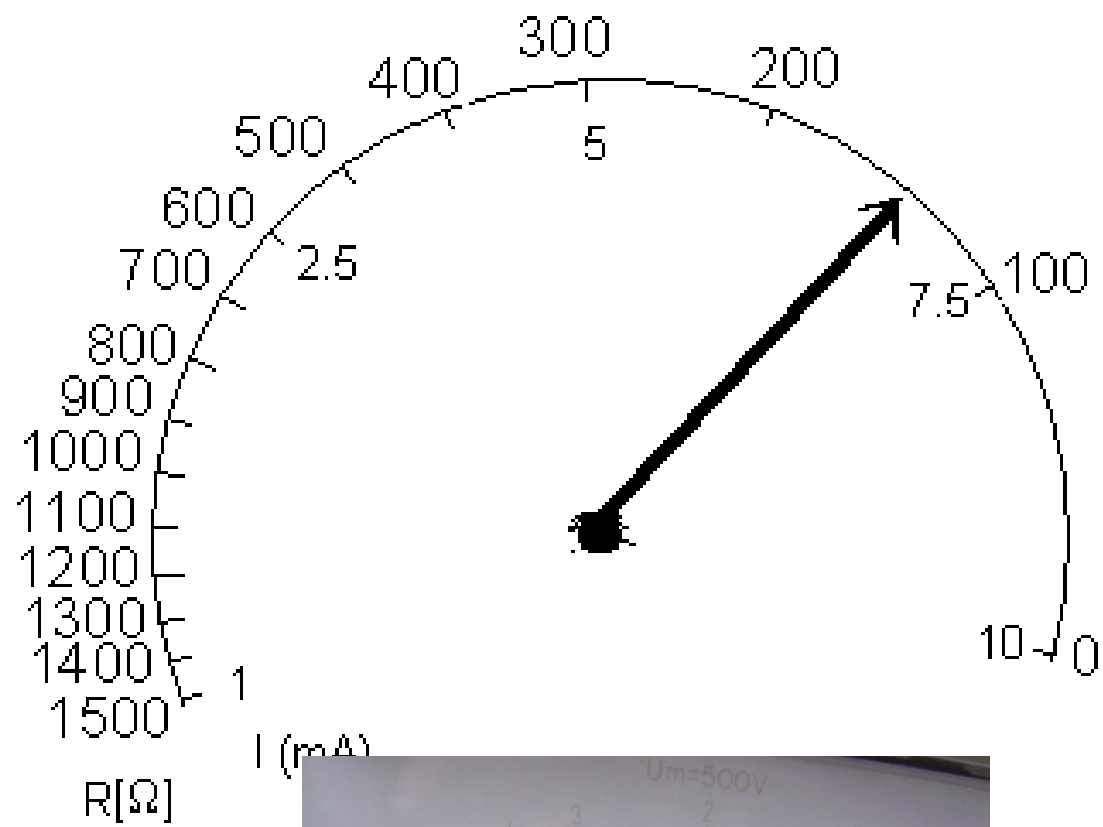
Ommetar

Ampermetar pokazuje vrednost otpora na posebno baždarenoj skali.

Otpornost R nepoznatog otpornika je inverzno proporcionalna struji, skala instrumenta je nelinearna.

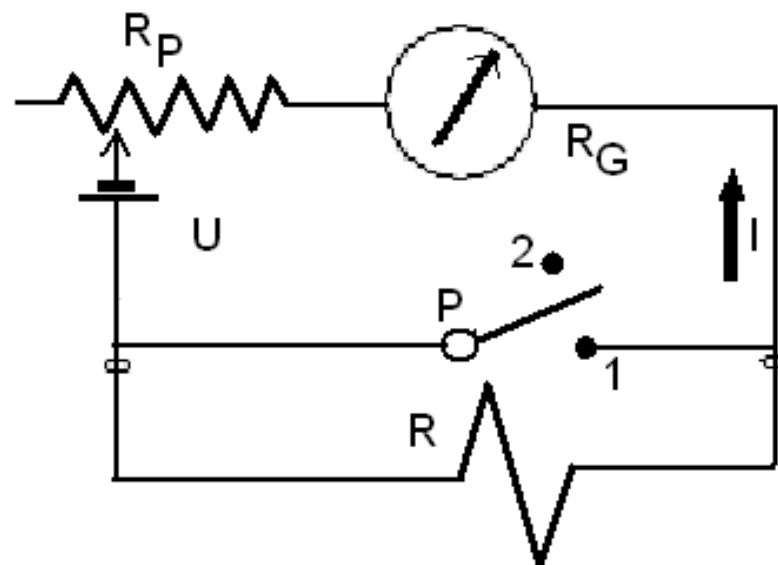
Pokazivanje je 0 kada je naponski izvor kratko spojen, tj. kolo čine izvor i ampermetar.





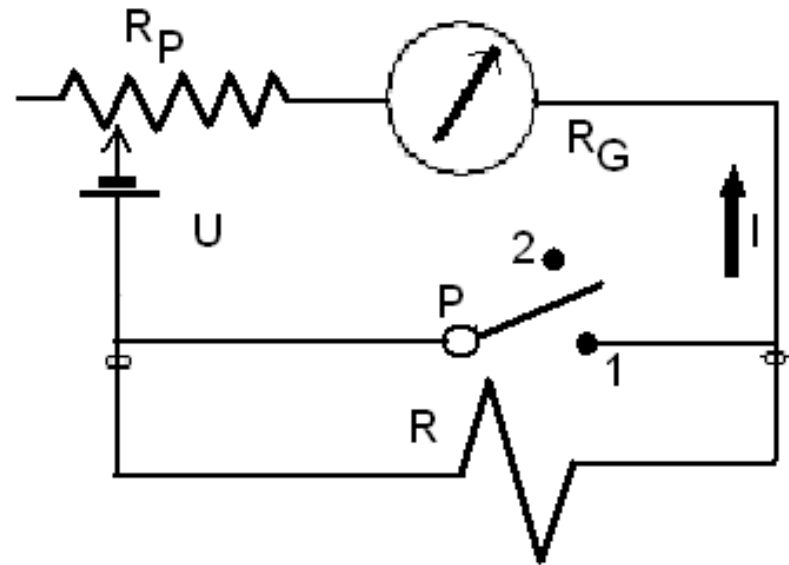
Ommetar

$$I_0 = \frac{U}{R_p + R_g}$$



Konstrukcija na slici uključuje i otpornik R_p i prekidač. Postavljanjem prekidača u položaj "1" formiramo redno kolo u kome podešavanjem promenljivog otpornika R_p podesimo da skretanje bude maksimalno, tj. pokazivanje ampermetra unutrašnje otpornosti R_g jednako struji maksimalnog otklona.

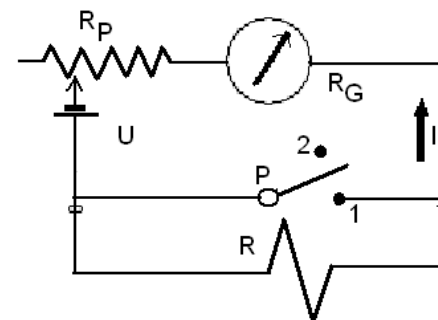
$$I = \frac{U}{R + R_p + R_g}$$



Prekidač u položaju "1" je ekvivalentno priključivanju spoljnog nepoznatog otpora koji ima otpornost 0, tj. $R=0$.

Prebacivanjem preklopnika u položaj "2", odnosno otvaranjem prekidača ostaje nam kolo u kome struja odgovara ukupnoj otpornosti koja uključuje i nepoznatu otpornost R .

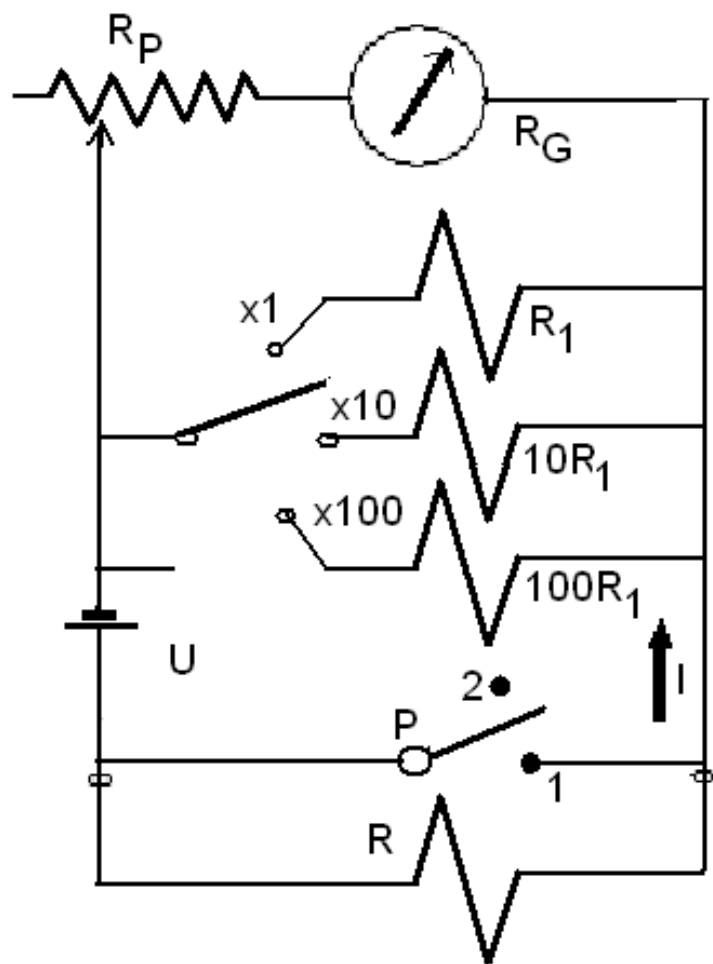
Ommetar



Ako obeležimo odnos struje I u kolu kada je prekidač u položaju "2", i struje I_0 sa α (ugao skretanja kazaljke instrumenta), tj. $\alpha = I / I_0$, i izrazimo otpornost podešljivog otpornika R_p preko napona izvora, struje maksimalnog otklona i unutrašnjeg otpora (nepromenljivih veličina u kolu) $R_p = U / I_0 - R_g > 0$ dobijamo konačni izraz za nepoznatu otpornost

$$R = \frac{U}{I_0} \frac{1 - \alpha}{\alpha}$$

Ommetar sa više skala



Ommetri se prave sa više opsega.

Tipična konstrukcija ommetra sa tri skale je na slici.

Konstrukcija električnih instrumenata

Analogni električni instrumenti

Pretvarači električnih veličina u neelektrične veličine

Vrsta	Primena	Dejstvo	Primeri
Magnetoelektrični	Za merenje jednosmeme struje	Izmedju struja i stalnog magneta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrument sa pokretnim kalemom ➤ Instrument sa unakrsnim kalemom ➤ Instrument sa pokretnim magnetom
Feromagnetski	Za merenje jednosmeme i naizmenečne struje	Izmedju struje i komada gvoždja	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Instrument sa pokretnim gvoždjem
Elektrodinamički Termoelektrični	Za merenje jednosmeme i naizmenečne struje Za merenje jednosmeme i naizmenečne struje	Izmedju dve struje Termičko dejstvo struje	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Elektrodinamički instrument ➤ Ferodinamički instrument ➤ Instrument sa zagrevanom žicom ➤ Bimetalni instrument ➤ Instrument sa termopretvaračem ➤ Kvadratni elektrometar
Elektrostatički	Za merenje jednosmeme i naizmenečne struje	Elektrostatičko polje	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Multicelularni voltmetar
Indukcioni	Za merenje jednosmeme i naizmenečne struje	Naizmenečno elektromagnetsko polje	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Indukcioni instrument

Analogni ampermetar

Analogni električni merni instrumenti pretvaraju energiju koja potiče od električne ili magnetske sile u mehanička ili termička dejstva.

Najčešće se primenjuje elektromehaničko dejstvo električne struje, kod kojeg električna struja i magnetsko polje generišu mehaničku silu koja na pogodan način pokreće kazaljku u odnosu na skalu na kojoj se očitava vrednost električne veličine.

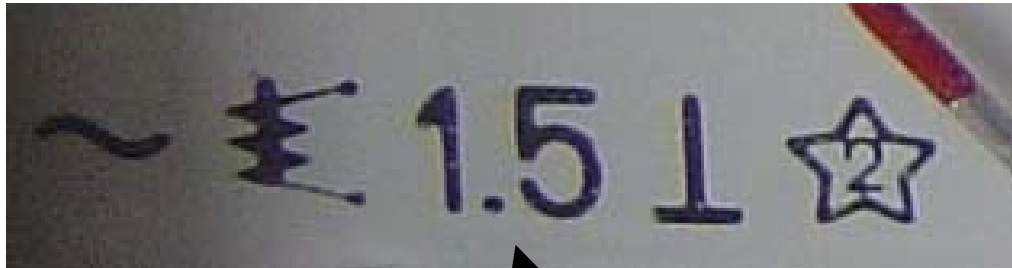
Analogni instrument





OPŠTE KARAKTERISTIKE




Na instrumentu su uobičajeno navedeni osnovni elementi o instrumentu:




- klasa tačnosti,
- vrsta struje koju instrument meri (jednosmerna, naizmenična),
- probojni napon,
- položaj instrumenta pri merenju, itd.




Analogni instrument



Simboli za vrste struje koju instrument meri	
Jednosmerna struja	
Naizmenična struja	
Jednosmerna i naizmenična struja	
Trofazni merni sistem sa jednim strujnim i jednim naponskim kolom	

Simboli ispitnih napona	
Ispitni napon 500 V	
Ispitni napon iznad 500 V (npr. 2kV)	
Simbol za instrument koji se ne podvrgava ispitnom naponu	

Simboli za klase tačnosti	
Indeks klase za greške date u procentima merenog domaćaja (npr. 1,5)	
Indeks klase za greške date u procentima dužine skale (npr. 1,5)	
Indeks klase za greške date u procentima prave vrednosti (npr. 1,5)	

Simbol za položaj instrumenta	
Instrument za vertikalni položaj	
Instrument za horizontalni položaj	
Instrument čija skala za vreme upotrebe stoji koso prema horizontali (npr. 60°)	

Simboli za princip delovanja mernih instrumenata i pribora

Instrument sa pokretnim kalemom (magneto-električni)



Kvocijentni magneto-električni instrument



Instrument sa pokretnim magnetom



Kvocijentni instrument sa pokretnim magnetom



Instrument sa pokretnim gvoždem



Instrument sa pokretnim gvoždem i stalnim magnetom



Kvocijentni instrument sa pokretnim gvoždem



Elektrodinamički instrument



Ispravljač



Bimetalni instrument



Elektrostatički instrument



Instrument sa vibracionim jezičcima



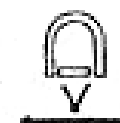
Termospreg neizolovan



Termospreg izolovan



Instrument sa pokretnim kalemom i ugrađenim izolovanim termospregom



Instrument sa pokretnim kalemom i odvojenim neizolovanim termospregom



Ferodinamički instrument



Kvocijentni elektrodinamički instrument



Kvocijentni ferodinamički instrument



Indukcioni instrument



Kvocijentni indukcionni instrument



Instrument sa zagrewnom žicom



Instrument sa pokretnim kalemom i ugrađenim ispravljačem












Upozorenje na odvojeni šant



Upozorenje na odvojeni predotpornik



Naziv	Simbol	Naziv	Simbol
Upozorenje na odvojeni induktivni predotpornik		Magnetna indukcija koja odgovara indeksu klase, izražena u desetinama mT	
Upozorenje na odvojenu impedansu		Stezaljka za uzemljenje	
Elektrostatički štit		Podlašavač nule	
Magnetski štit		Upozorenje na posebno uputstvo ili dokument	
Astatički instrument	ast	Upozorenje da ispitni napon ne odgovara	

Princip rada analognog ampermetra

Konstrukcija ovih instrumenata je jednostavna, i oni su vrlo pouzdani u primeni. Neki instrumenti su specifično namenjeni merenju pojedine električne veličine (ampermetar, voltmetar, ommetar, logometar - odnos dve električne veličine).

S obzirom da se pravilnim povezivanjem pasivnih električnih elemenata ampermetar relativno lako pretvara u voltmetar ili ommetar često se koriste multimetri (multimetri, avometri) koji menjaju svoju namenu promenom položaja preklopnika.

Princip rada instrumenta sa pokretnim kalemom

Ovaj instrument radi na principu pretvaranje električne u mehaničku energiju

Magnetsko polje i provodnik u kome postoji struja međusobno deluju i rezultat je sila (momenat) koja deluju na pokretni deo analognog električnog instrumenta.

Ovo dejstvo rezultuje relativnim kretanjem pokretnog dela instrumenta koji nosi kazaljku u odnosu na nepokretni deo instrumenta na kome je ispisana skala. Shodno tome, otklon, tj. obrtanje kazaljke zavisi direktno od merene veličine.

Princip rada instrumenta sa pokretnim kalemom

Da bi kazaljka bila stabilna neophodno je mehaničkom konstrukcijom obezbediti da pri delovanju električne sile kazaljka posle dostizanja ravnotežnog položaja ostane u tom položaju. To se postiže ugradnjom mehanizma koji rezultuje otpornim momentom (npr. mehaničke opruge). Otporni moment vraća kazaljku u nulti položaj kada su ulazi otvoreni, tj. kada na ulaze instrumenta ne dovodimo električnu veličinu. U instrument se ugradjuje i sistem koji prigušuje oscilacije kazaljke.

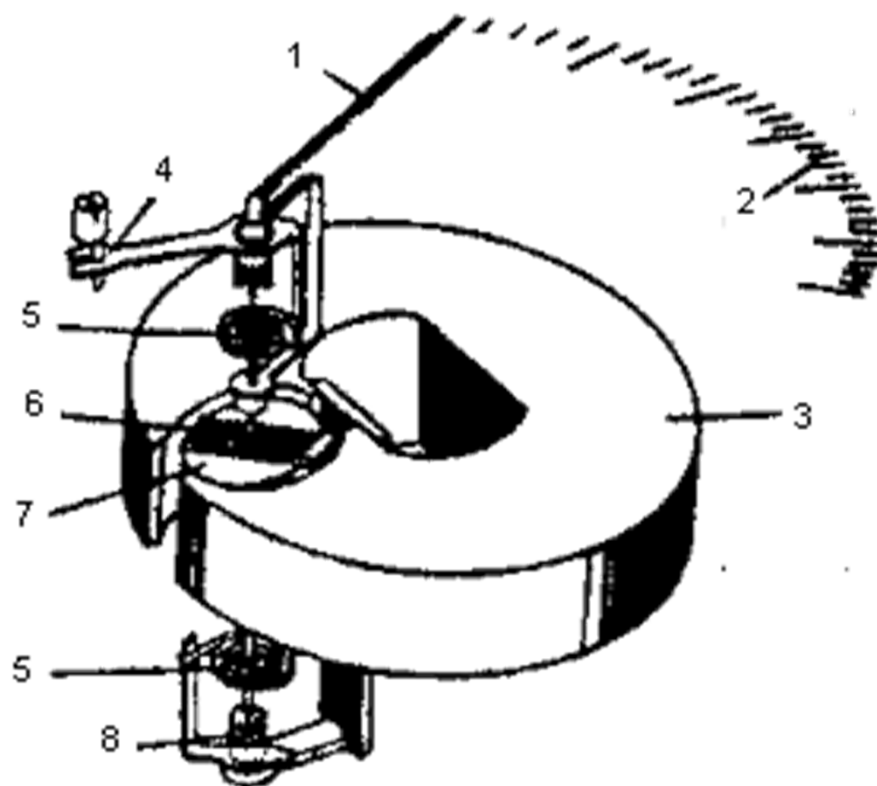
Princip rada analognog ampermetra

Umesto "materijalne" kazaljke u nekim instrumentima se koristi svetlosni mlaz, jer se time umanjuje inercija pokretnog dela što je vrlo povoljno za merenje jako malih električnih veličina. Vrlo je važno da se pri merenju kazaljka posmatra upravno da ne bi došlo do greške u očitavanju. Da bi se obezbedilo da pre merenju posmatrnaje bude upravno se često postavlja ogledalo, kako bi posmatrač menjao ugao gledanja sve dok se ne poklope kazaljka i njen lik u ogledalu. U instrumente veće tačnosti (npr. klasa tačnosti 0.5 ili manja) se uvek ugradjuju vrlo tanke kazaljke (npr. nit, svetlosni sistem).

Princip rada analognog ampermetra

Skale mogu biti baždarene na razne načine u zavisnosti od potrebe (linearne, eksponencijalne, logaritamske, kvadratne i slično). Linearna skala ima sasvim jasne prednosti, a očitavanje uvek treba vršiti u drugoj i trećoj trećini. Za merenje malih veličina je pogodna logaritmska skala, dok je za očitavanje u trećoj trećini veća rezolucija kvadratne skale u odnosu na linearnu.

Princip rada instrumenta sa pokretnim kalemom



1 – kazaljka, 2 – skala, 3 – stalni magnet, 4 – podešavanje nultog položaja kazaljke, 5- spiralna opruga, 6 – pokretni kalem, 7 – jezgro od mekog gvoždja, 8 – ležaj osovine pokretnog kalema

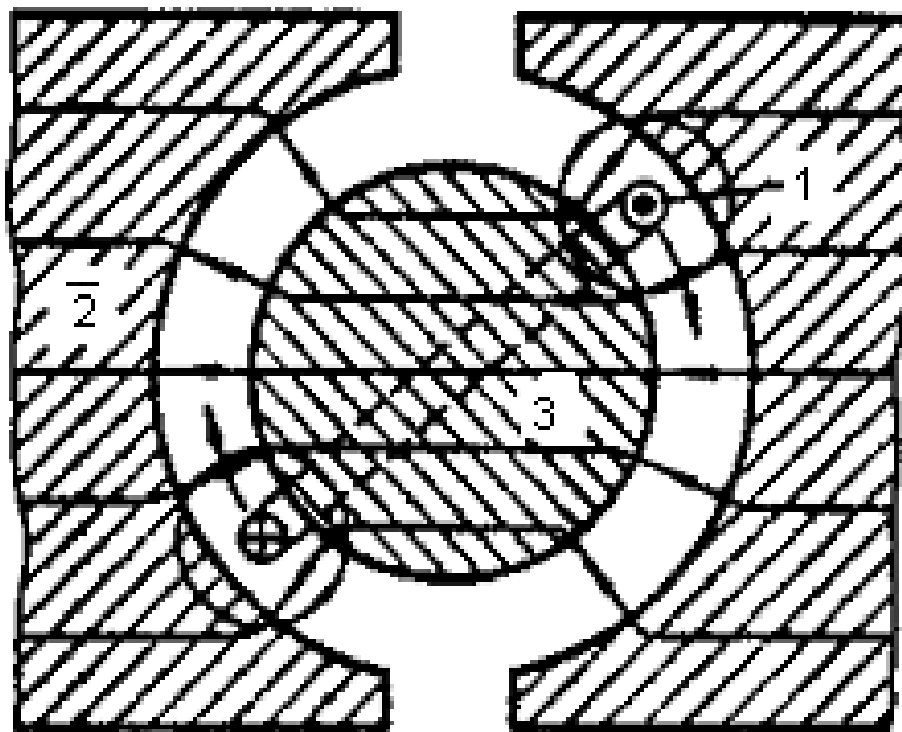
Princip rada analognog ampermetra

Za merenje jednosmerne struje koriste se instrumenti sa **pokretnim kalemom i nepokretnim magnetom**, i instrumenti sa **unakrsnim kalemovima** (magnetoelektrični logometri).

Instrumenti sa **pokretnim magnetom** se ponašaju slično kao i instrumenti sa pokretnim kalemom: razlika je što je pokretni deo magnet, a nepokretni deo namotaj.

Princip rada instrumenta sa pokretnim kalemom

Instrument sa pokretnim kalemom reaguje na interakciju magnetskog polja stalnog magneta (2) i magnetskog polja koje nastaje kada postoji struja kroz namotaj (1) koji se nalazi u polju stalnog magneta. Deo (3) je od magnetskog materijala. Na slici su prikazane linije magnetske indukcije B .



Sila i moment koji deluju na namotaj

F -sila, N -broj namotaja, B -magnetska indukcija, I -jačina struje, l -dužina strane pravougaonika namotaja upravna na magnetsko polje, h -dužina stranice pravougaonika koja je paralelna sa poljem

$$F = N I B l$$

$$M_1 = F h = N I B l h$$

$$\Phi_0 = N l h B = N S B \quad \text{Fluks kroz namotaj}$$

Uslovi ravnoteže kalema

Magnetski moment (usled struje I)

$$M_1 = \Phi_0 I$$

Otporni moment (linearno zavisao od ugla okretanja)

$$M_2 = D \alpha$$

gde je D krutost, a α ugao obrtanja kalema.

U ravnotežnom položaju je zbir momenata u odnosu na osu obrtanja

$$M_1 + M_2 = 0$$

**Ugao skretanja kazaljke α je
proporcionalan struji I :**

$$I = \frac{D}{\Phi_0} \alpha = C_i \alpha$$

$$C_i = D / \Phi_0 \quad \textbf{strujna konstanta (A/rad)}$$

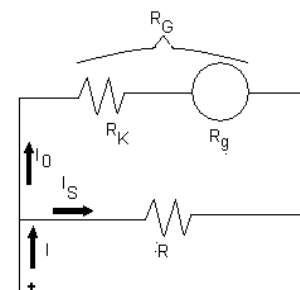
$$S_i = \Phi_0 / D \quad \textbf{strujna osetljivost (rad/A)}$$

Kompenzacija temperaturne nestabilnosti

Žica namotaja je uobičajeno od bakra čiji je temperaturni koeficijent otpornosti pozitivan (0.4 %/K), tj. otpornost kalema R_k se povećava za 0.4 procenta pri povećanju temperature žice za 1 K. U primeni uređaja promene temperature su veće (npr. 10K), pa se otpornost instrumenta menja i za nekoliko procenata.

Kompenzacija se vrši otpornikom koji se redno povezuje na namotaj kalema, a ima otpornost nekoliko puta veću od otpornosti samog namotaja. Zbir otpornosti namotaja i kompenzacionog otpora je unutrašnja otpornost instrumenta ($R_G = R_g + R_k$).

Ampermetar se pokretnim kalemom



Kalem instrumenta je od tanke bakarne žice, (R_g je vrlo malo), i maksimalna struja kojoj odgovara punom odklonu kazaljke se kreće od $10\ \mu\text{A}$ do $1\ \text{mA}$, a samo u retkim slučajevima do $25\ \text{mA}$.

Unutrašnja otpornost instrumenta R_G je za te instrumente u opsegu od 5 do $5000\ \Omega$.

Da bismo mogli da merimo veće struje neohodno je instrumentu paralelno povezati otpornost - "*šanta*".

Otpornost šanta $R_S < R_G$

**INSTRUMENTI ZA
MERENJE
NAIZMENIČNIH
STRUJA I NAPONA**

Primena uredjaja za merenje promenljive struje

Ako se instrumenti namenjeni merenju vremenski nepromenljivih veličina koriste za merenje promenljivih veličina očitana vrednost se ne može korelisati sa merenom veličinom.

Samo pri vrlo sporim promenama instrument će pratiti pozitivnu poluperiodu promena sa greškom koja zavisi od dinamičkih (inercijalnih) karakteristika uredjaja.

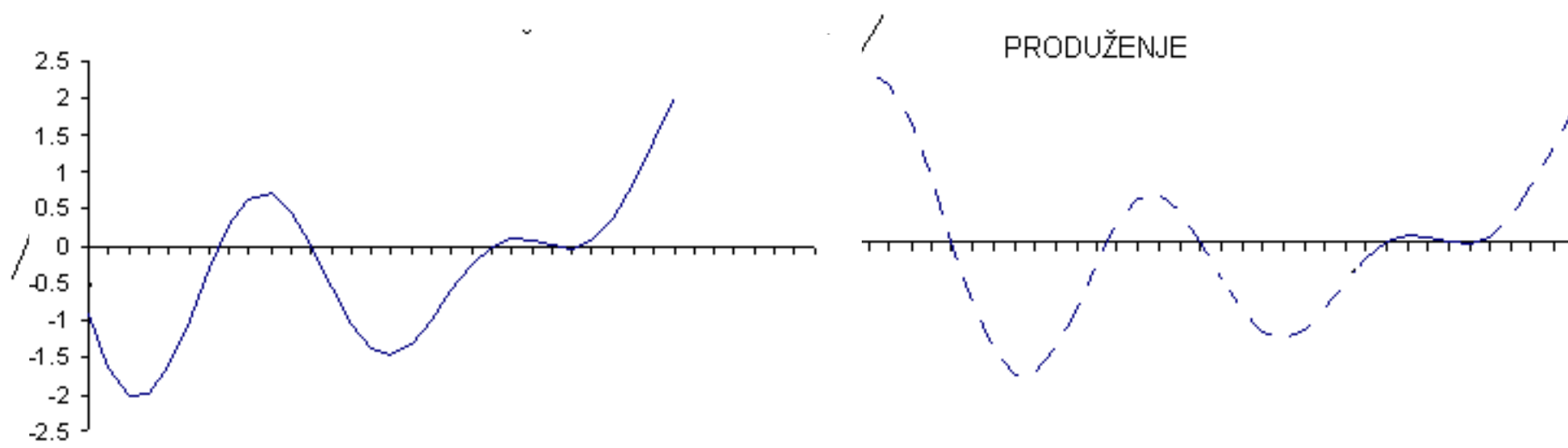
INSTRUMENTI SA POKRETNIM KALEMOM ZA MERENJE NAIZMENIČNIH STRUJA I NAPONA

Jedan od oblika promenljivosti struje i napona koji je od posebnog značaja je harmonijska, tj. prostoperiodična funkcija:

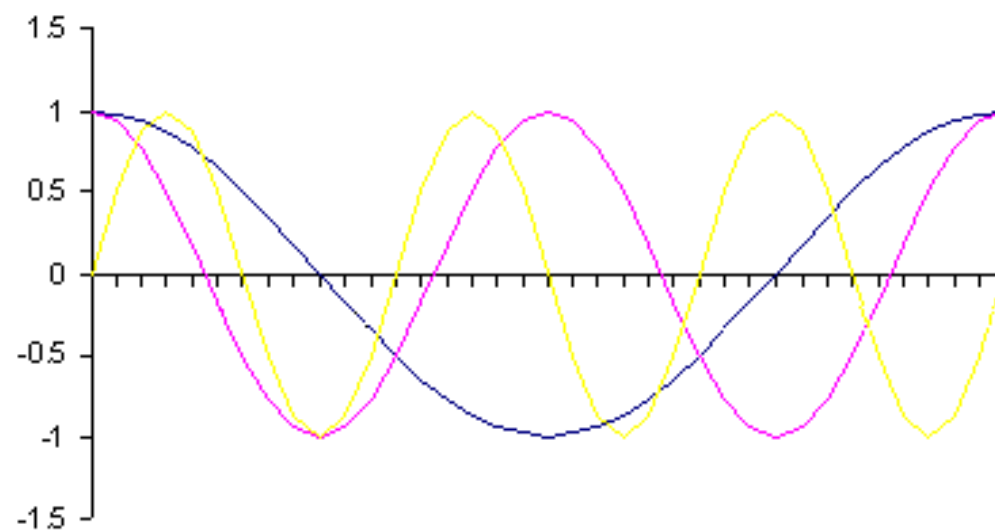
$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

Moguće je svaku složenu funkciju odredjenom opsegu aproksimirati algebarskom sumom prostoperiodičnih funkcija, pa razmatranje ima i širi značaj.

$$f(t) = a_0 + \sum_i (a_i \cos \omega_i t + b_i \sin \omega_i t)$$



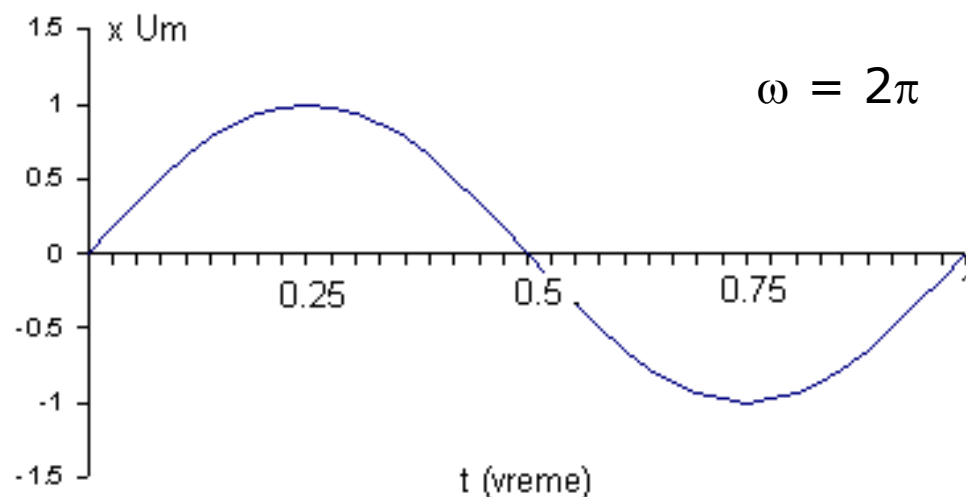
$$f(t) = a \cos(t) + a \cos(2t) + a \sin(3t), \quad a=1$$



Trenutna vrednost prostoperiodične veličine

$$u(t) = U_m \sin \omega t$$

U jednačini je U_m maksimalna vrednost promenljivog napona, ω kružna učestanost, t vreme, a $u(t)$ trenutna vrednost napona.



Srednja i efektivna vrednost prostoperiodično promenljive funkcije

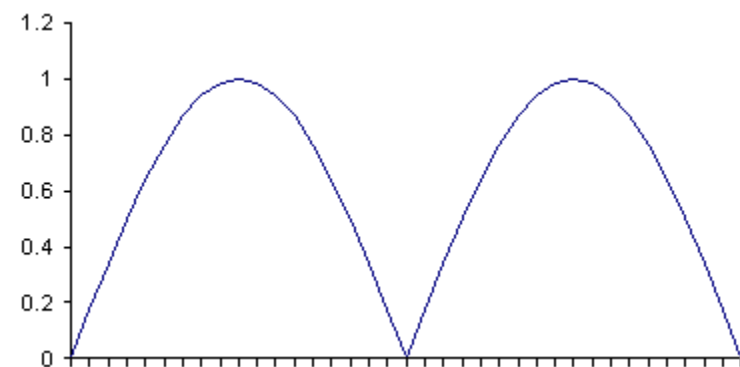
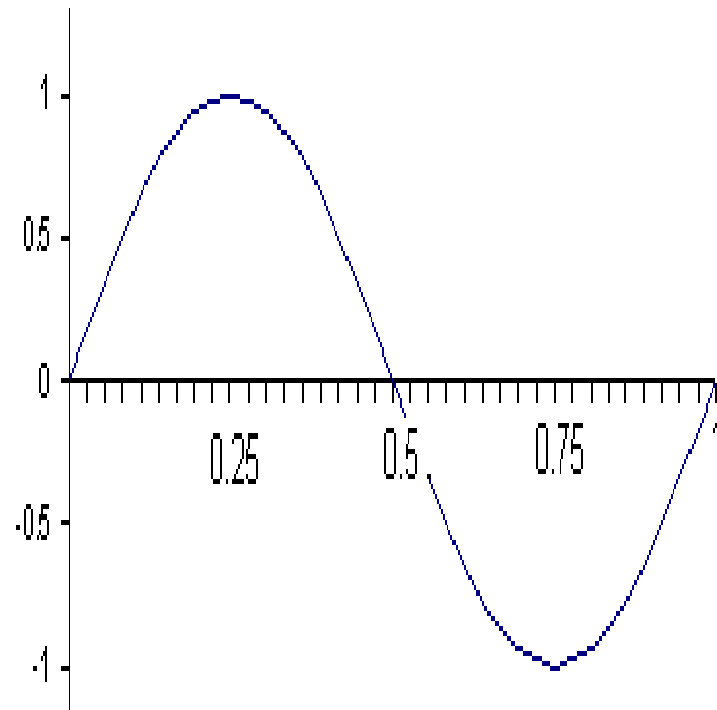
Za prostoperiodično promenljivi napon definišemo srednju i efektivnu vrednost u toku pozitivne poluperiode.

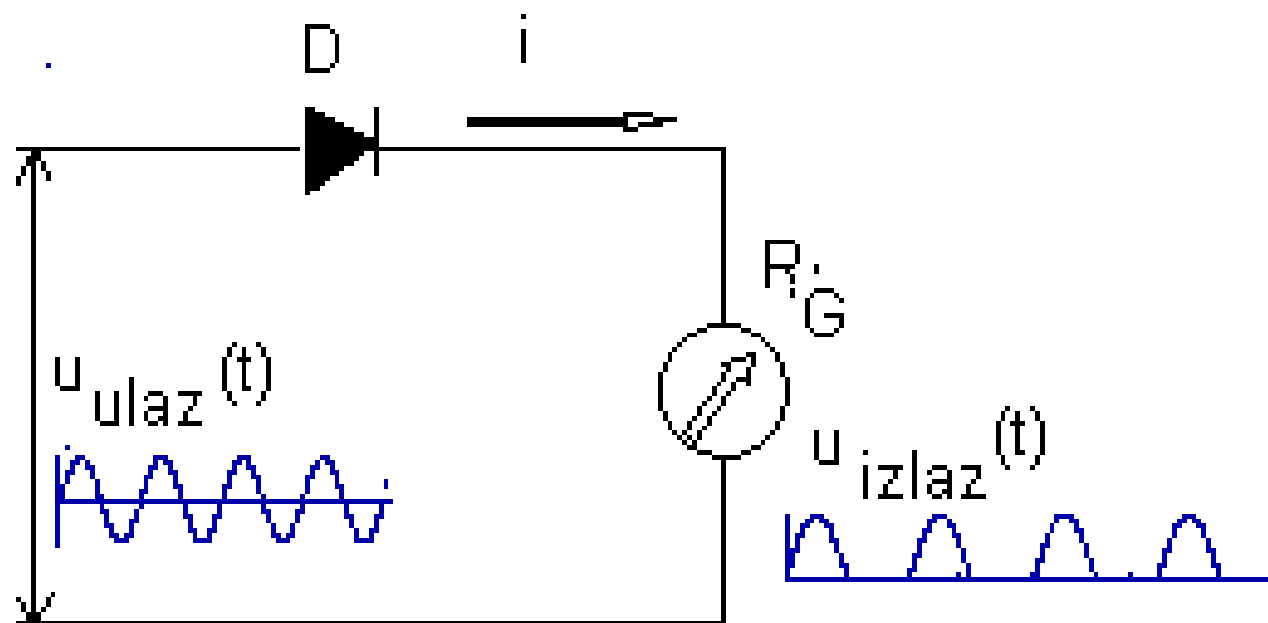
$$U_{sr} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} f(t) dt = \frac{2U_m}{T} \int_0^{T/2} \sin \omega t dt = \frac{2U_m}{\pi}$$

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{T/2} f^2(t) dt} = \sqrt{\frac{2U_m^2}{T} \int_0^{T/2} \sin^2 \omega t dt} = \frac{\sqrt{2} U_m}{2}$$

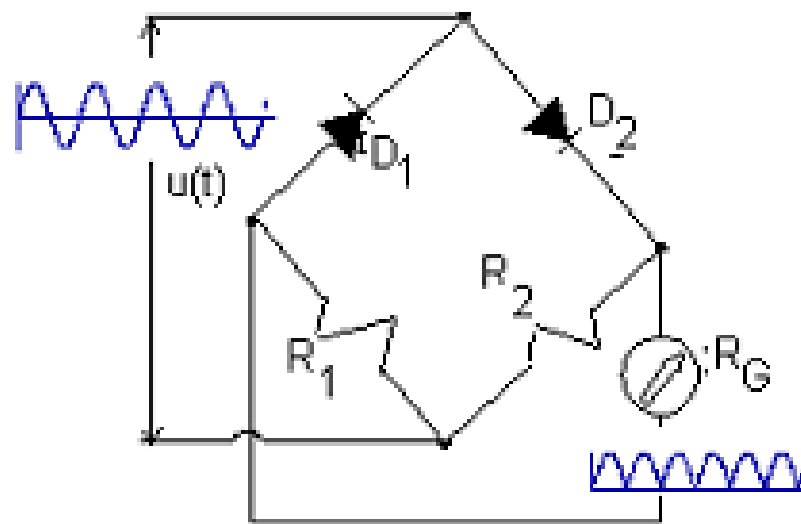
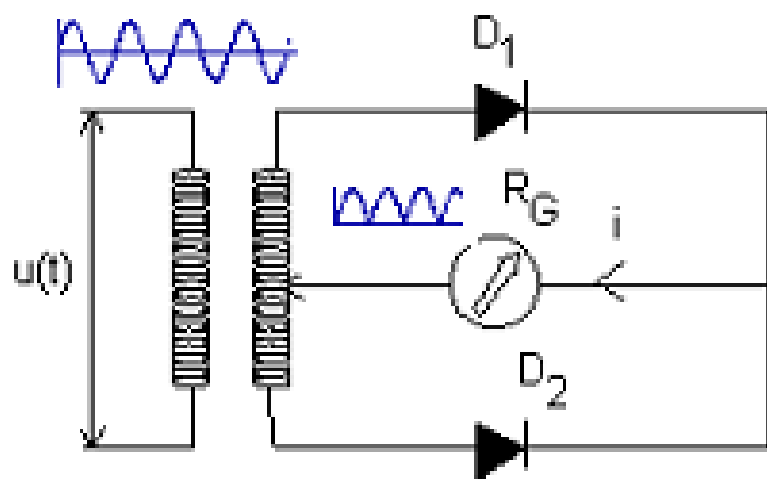
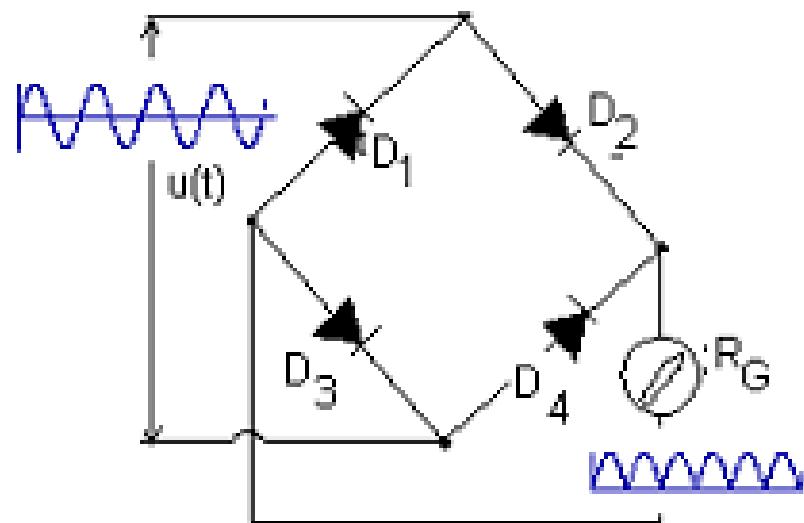
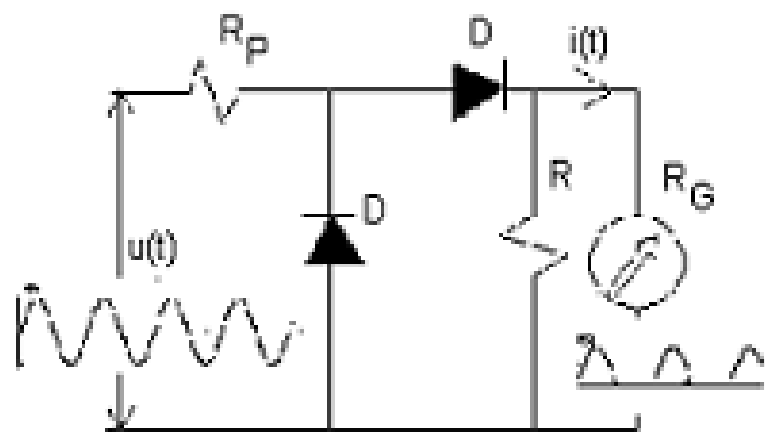
ISPRAVLJAČ

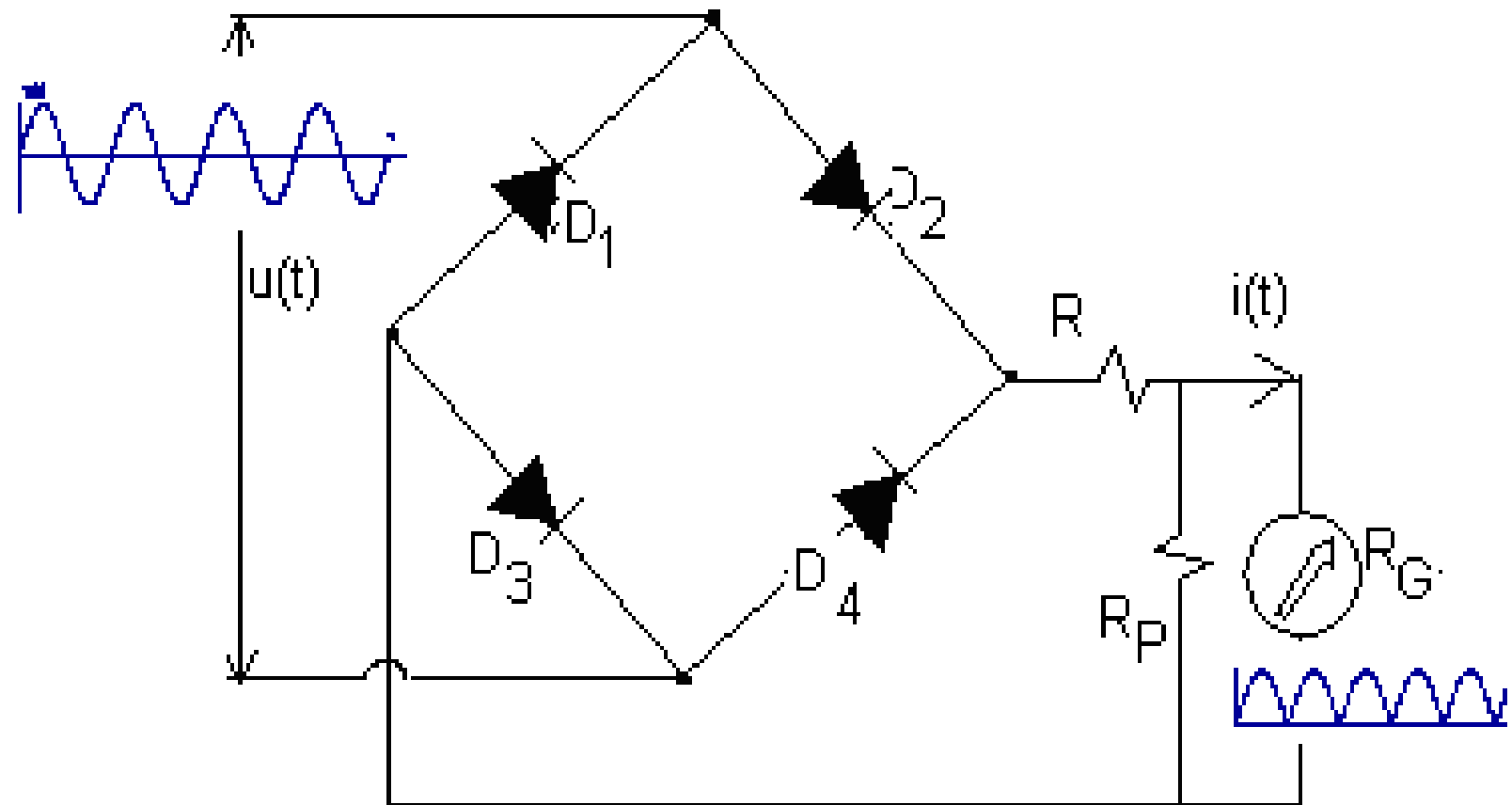
Za merenje vremenski promenljive električne veličine instrumentom sa pokretnim kalemom je obavezno da tu veličinu, koja povremeno menja smer, a stalno menja intenzitet pretvorimo u jednosmernu vremenski promenljivu veličinu.





U kolu struja postoji (u fazi sa naponom) samo kada je primenjeni napon $u(t)$ veći od napona polarizacije diode: $u_{ulaz}(t) > 0.6 \text{ V}$.





Šema voltmetra sa Grecom i instrumentom sa pokretnim kalemom

POKAZIVANJE INSTRUMENTA SA POKRETNIM KALEMOM

Ako je napon brzo promenljiv u odnosu na inercijalne karakteristike instrumenta sa pokretnim kalemom, ampermetar će pokazivati srednju vrednost struje u kolu.

Ako se dovede prostoperiodični napon sa maksimalnim intenzitetom U_m , srednja vrednost je 0, a ako se dovede ispravljeni prostoperiodični napon sa maksimalnim intenzitetom U_m pokazivanje će biti

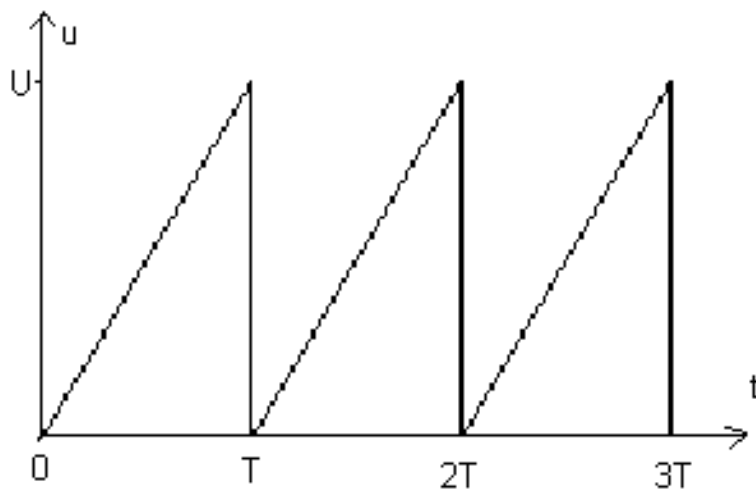
$$U = U_{sr} = \frac{2U_m}{\pi}$$

FAKTOR OBLIKA

Kvantitativna procena sistematske greške se izražava koristeći tzv. *faktor oblika*.

Faktor oblika se definiše kao odnos efektivne i srednje vrednosti signala. Za prostoperiodični signal je faktor $\pi/2\sqrt{2} \approx 1.11$

Za drugačije signale faktor oblika ima druge vrednosti.



$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T U / T \cdot t \, dt = \frac{U}{2} ,$$

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{U^2}{T^2} t^2 \, dt} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

Faktor oblika za testerasti signal na slici je

$$k = \frac{\frac{U}{2}}{\frac{U}{\sqrt{3}}} = 1.15$$

$$\delta = \frac{k - k_{pp}}{k_{pp}} = \frac{1.15 - 1.11}{1.11} = 0.036$$

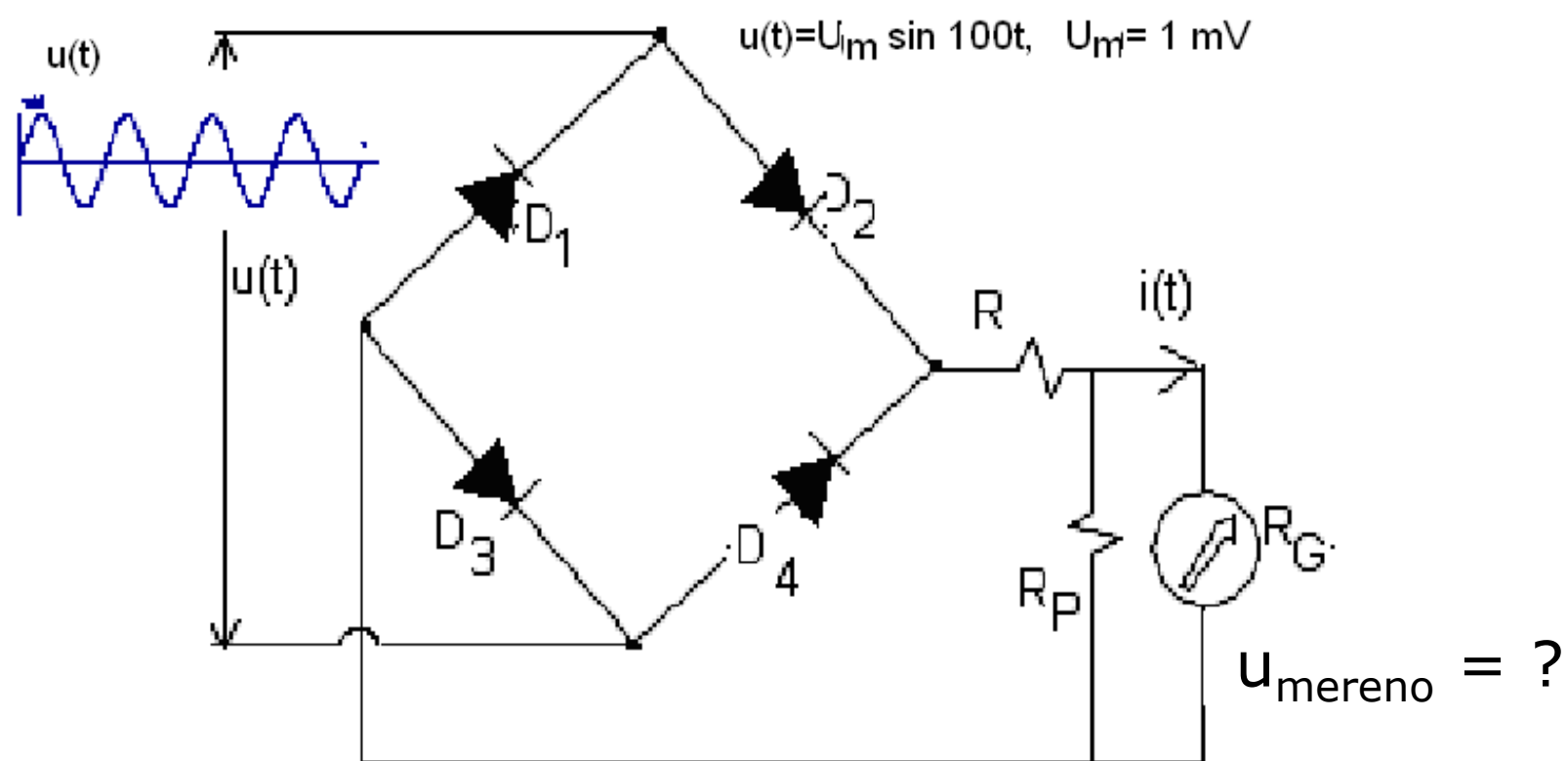
**FAKTOR
IZOBLIČENJA**

Opšte napomene

Komercijalni ampermetri i voltmetri omogućuje merenje struja u opsegu od 0.1 mA do 6 A, i napona u opsegu od 1 do 1000 V.

Frekvencijski opseg ovih instrumenata je ograničen na približno 20 kHz, pre svega zbog kapacitivnih smetnji u poluprovodničkim elementima.

Najveći nedostatak ovih instrumenata je greška (klasa tačnosti 1 do 5) i sistematsko odstupanje rezultata za signale koji su različiti od prostoperiodičnih signala.



$$u_{\text{mereno}} = 0$$

Opšta napomena

Za merenje malih signala se ne mogu primeniti prikazani ispravljači.

U nekim slučajevima je nemoguće merenje jer su smetnje (šum) koje prate signal toliko velike da ih je pri merenju teško razdvojiti od merenog signala.

U tom cilju se primenjuju elektronski elementi za primarnu obradu signala koji mogu da selektivno pojačaju željeni signal, a atenuiraju šum.

GALVANOMETRI

Galvanometri su izuzetno osetljivi električni elementi koji se upotrebljavaju za merenje malih struja (10^{-12} A), i jednosmernih napona (10^{-9} V). Pri ovome je potrošnja instrumenta vrlo mala i dostiže 10^{-11} W.

Koriste se kod metoda direktnog poredjenja jednosmernih struja i napona (kompenzacione metode) ili kao osetljivi indikatori ravnoteže (nul-detektori).

Galvanometar sa pokretnim kalemom

Princip rada instrumenta sa pokretnim kalemom.

Konstruktivne promene u odnosu na opisani uredjaj:

- Povećanje broja navojaka
- Produžena je kazaljka tako da je rezolucija jako povećana, a istovremeno je smanjena njena inercija - svetlosna kazaljka primnom sitema ogledala.