

Merenja

2. predavanje

Da bi se razjasnili termini i pojmovi vezani za merenja isti se mogu grupisati prema sledećim naslovima odnosno celinama u toku procesa merenja:

1. merena veličina,
2. merno sredstvo
3. merni proces
4. rezultati merenja

1. Merena veličina

Definicije:

- **Fizička veličina** je osobina pojave, tela ili supstance koja može da se razlikuje kvalitativno i odredi kvantitativno.
- **Osnovna fizička veličina** je jedna od veličina u sistemu veličina, koja je dogovorena kao nezavisna od bilo koje druge veličine.
- **Izvedena fizička veličina** u sistemu veličina se može definisati kao funkcija osnovnih veličina tog sistema.

- **Merna jedinica** je određena veličina, usvojena dogovorom, koja se koristi za kvantitativno izražavanje veličina iste dimenzije.
- **Oznaka merne jedinice** je dogovoreni simbol kojim se označava merna jedinica.
- **Vrednost veličine** je veličina izražena brojnom vrednošću i odgovarajućom jedinicom.

2. Merna sredstva

Definicija:

Merno sredstvo je aparat sa normiranim karakteristikama koje reprodukuje ili memoriše (čuva) jednu ili više mernih jedinica.

Merna sredstva se dele na:

- materijalizovana mera,
- merni instrumenti i
- merni pretvarači.

Materijalizovane mere

Materijalizovane mere su sredstva koja se koriste za reprodukovanje mernih jedinica – etaloni, na primer: etalonski otpornik od $R = 1\Omega$, Vestonov naponski element od $U = 1,018\text{ V}$, dekada otpora i slično.

Karakteristike materijalizovanih mera su:

- robustnost konstrukcije
- jednostavnost manipulacije i
- stabilnost u radu.

Za materijalizovane mere treba znati:

- nazivnu vrednost,
- stabilnost mere i
- referentne uslove merenja.

Merni instrumenti

Merni instrumenti su aparati koji samostalno ili u sklopu sa drugim aparatima služe za merenje.

Merni instrumenti mogu d budu:

- pokazni,
- registrujući,
- sabirni,
- integratorski,
- itd....,

Prikazivanje ili memorisanje može biti analogno ili digitalno

Merni pretvarači

Merni pretvarači su aparati koji pretvaraju jedne fizičke veličine u druge, a namenjeni su merenju.

Posebno važni za merenje su analogno digitalni (A/D) i digitalno analogni (D/A) pretvarači koji omogućuju prevođenje kontinualnih na diskretne veličine i obrnuto.

3. Merni proces

Za merni proces čiji je proizvod merni rezultat, kaže se da predstavlja pojedinačnu realizaciju određene merne metode, koja uključuje sve podatke, opremu i postupak.

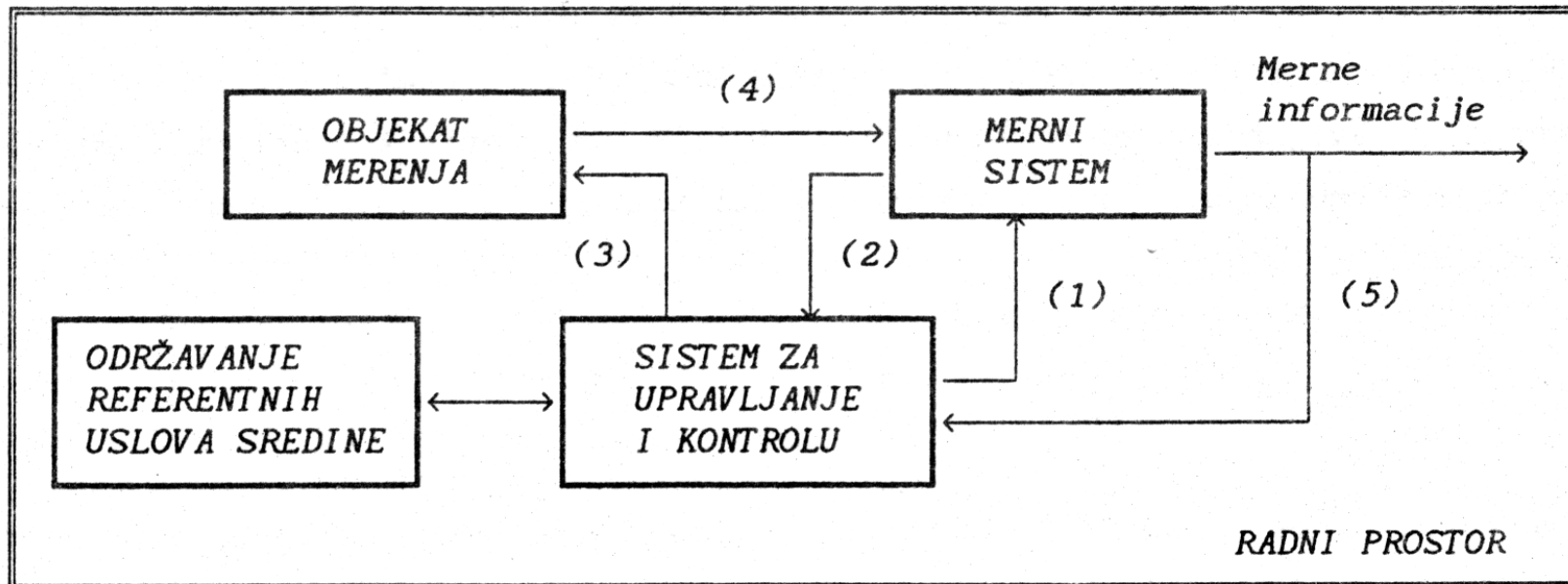
Da bi se merni proces pravilno odvijao, potrebno je obezbediti:

- odgovarajući merni sistem,
- sistem za upravljanje i kontrolu,
- sistem za održavanje referentnih uslova, i
- radni prostor,

sa jedne strane, i:

- princip merenja,
 - metodu merenja i
 - operativni postupak,
- sa druge strane.

Svaka od ovih komponenata ima važnu ulogu u mernom procesu, pa je njihovo pojedinačno poznavanje, uslov korektnog obavljanja svakog metrološkog zadatka.



Slika 2.1. Funkcionalna šema mernog procesa

Objekat merenja čine karakteristike neke prirodne pojave, koje kao fizičke veličine imaju kvalitativna i kvantitativna svojstva,

Merni sistem je skup mernih sredstava koji čini jednu funkcionalnu i radnu celinu, čiji je zadatak da preuzme merenu veličinu sa objekta merenja, da je uporedi sa referentnom istorodnom veličinom, i da rezultat merenja saopšti kao mernu informaciju odgovarajućem korisniku.

Sistem za upravljanje i kontrolu obezbeđuje redosled mernih postupaka u procesu merenja.

Održavanje referentnih uslova u radnom prostoru predstavlja jedan od preduslova za izvođenje kvalitetnih merenja

Metode merenja

Opis logičkog redosleda, u glavnim crtama, onih operacija koja su nepohodna da bi mogli izvršiti merenje

Metode merenja se mogu grupisati na primer na sledeći način:

- **Metoda zamene**
- **Metoda merenje razlike**
- **Nulta metoda.**

Prema načinu dobijanja brojne vrednosti merene veličine u mernom procesu metode merenja se mogu podeliti na:

- **direktnu metodu merenja i**
- **indirektnu metodu merenja.**

Direktna metoda merenja predstavlja metodu merenja gde se brojna vrednost merene veličine dobija direktno (neposredno), a ne merenjem drugih veličina funkcionalno vezanih za nju.

Primer direktne metode je merenje električne struje ampermetrom

Indirektna metoda merenja predstavlja metodu merenja gde se brojna vrednost merene veličine dobija merenjem drugih veličina funkcionalno vezanih za nju.

Kao primer indirektnog metode može se navesti merenje električne otpornosti merenjem električnog napona i električne struje.

4. Rezultati merenja

Vrednost koja je dobijena merenjem, a odnosi se na merenu veličinu.

Oblast rezultati merenja može se grupisati u sledeće važne podoblasti

- greške mernih sredstava,
- rezultati i greške merenja,
- statistička obrada rezultata merenja i
- grafičko predstavljanje rezultata merenja

Greške mernih sredstava

Važno je razdvajati pojmove greške mernog sredstva i greške merenja, jer greška mernog sredstva odnosi se samo na posmatrano merno sredstvo, i njegovo pokazivanje, dok je definicija greške merenja šira, odnosi se na rezultat merenja na koga utiču sva merna sredstva koja učestvuju u posmatranom mernom procesu.

Greška pokazivanja mernog sredstva jednak je razlici između pokazivanja mernog sredstva i prave vrednosti merene veličine.

Sistematske greške mernog sredstva

Sistematske greške mernog sredstva su one komponente greške pokazivanja koje imaju tendenciju iste veličine i znaka za date uslove korišćenja. Zbog istog algebarskog znaka one imaju tendenciju da se akumuliraju, pa zato imaju i dodatni naziv kumulativne greške.

Nastaju zbog:

- unutrašnjih grešaka mernog sredstva
- grešaka sredine
- grešaka opterećenja

Slučajne greške

Slučajne greške su one komponente greške pokazivanja koje imaju slučajni karakter promene, bez mogućnosti procenjivanja veličine ili znaka. Međutim upravo zbog toga, kod njih se javlja efekat međusobne kompenzacije.

Uloga slučajnih grešaka mernog sredstva posebno je važna kod preciznih merenja, kada je neophodna njihova statistička analiza. Uzroci su:

- neusaglašenosti pokazivanja prilikom tačnih merenja malih vrednosti veličina,
- prisustvo određenih sistemskih nedostataka mernog sredstva
- slučajno promenljivi efekti sredine

Apsolutna greška mernog sredstva

Greška merenja

Rezultat merenja minus prava vrednost merene veličine.

Ako je potrebno razlikovati grešku merenja i relativnu grešku onda prethodnu često nazivamo **apsolutnom greškom merenja**. Apsolutna greška merenja nije ista sa **apsolutnom vrednošću greške merenja**.

Apsolutna greška materijalizovane mere jednaka je razlici između nazivne vredosti mere i prave vrednosti reprodukovane veličine.

Izražena u jedinicama merene veličine, ona je data relacijom:

$$G_a = x - x_0$$

Gde je:

x nazivna vrednost mere

x_0 prava vrednost reprodukovane veličine

Iz relacije vidi se da je apsolutna greška algebarska veličina.

Apsolutna greška mernog instrumenta jednaka je razlici između pokazivanja instrumenta i prave vrednosti merene veličine.

Relativna greška mernog sredstva

Relativna greška materijalizovane mere jednaka je odnosu apsolutne greške materijalizovane mere i prave vrednosti reprodukovane veličine.

Relativna greška materijalizovane mere data je relacijom:

$$G_r = \frac{x - x_0}{x_0}$$

iz koje se vidi da je ova greška neimenovan broj.

Relativna greška mernog instrumenta
jednaka je odnosu apsolutne greške
mernog instrumenta i prave vrednosti
merene veličine.

Svedena greška mernog instrumenta

Svedena greška mernog instrumenta jednaka je odnosu apsolutne greške mernog instrumenta i jedne određene vrednosti.

Ova određena vrednost je obično gornja granica mernog opsega (kraj skale) ili raspon. **Svedena greška** odnosi se uglavnom na merne instrumente i izražava se najčešće u procentima, pa je tada data kao:

$$G_r (\%) = \frac{x - x_0}{x_{\max}} \cdot 100$$

Gde je x_{\max} pun opseg (raspon).

Greška merenja

Osnovni cilj merenja je, da posredstvom odgovarajućih mernih sredstava, kao rezultat merenja dobije pravu vrednost merene veličine.

Razlika između izmerene vrednosti merene veličine i njene prave vrednosti naziva se greška rezultata merenja ili skraćeno greška merenja. U zavisnosti od načina predstavljanja greške merenja, kao imenovan ili neimenovan broj, razlikujemo:

- apsolutnu i
- relativnu grešku.

Apsolutna i relativna greška merenja

Apsolutna greška merenja je razlika između rezultata merenja i prave vrednosti merene veličine.

Izražena u jedinicama merene veličine, ona je data relacijom:

$$G_a = x - x_0$$

Gde je:

x izmerena vrednost

x_0 prava vrednost merene veličine

Iz relacije se vidi da je apsolutna greška algebarska veličina i da je pozitivna kada je izmerena vrednost veća od prave vrednosti, a negativna kada je izmerena vrednost manja od prave vrednosti.

Relativna greška merenja

Relativna greška merenja jednaka je odnosu apsolutne greške merenja i prave vrednosti merene veličine.

Relativna greška merenja data je relacijom:

$$G_r = \frac{G_a}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0}$$

iz koje se vidi da je relativna greška merenja neimenovan broj.

Obe navedene definicije za grešku merenja nemaju praktičan značaj, jer iako prava vrednost merene veličine sigurno postoji, mi nemamo nikakvih mogućnosti da je saznamo,

Jer, pravu vrednost moramo ustanoviti mernim postupkom, tj. merenjem a rezultat merenja uvek sadrži grešku. Stoga smo prinuđeni da procenjujemo pravu vrednost merene veličine sredstvima koja nam stoje na raspolaganju.

Koristeći etalone i najtačnije odgovarajuće metode merenja, ili pak, aritmetičku sredinu niza ponovljenih merenja, dolazimo do dogovorene (usvojene) prave vrednosti merene veličine.

Dogovorena prava vrednost

Umesto konkretne vrednosti neke veličine često dogovorom usvajamo takvu vrednost čija nesigurnost odgovara datom cilju

Zamenivši pravu vrednost merene veličine sa dogovorenom pravom vrednošću merene veličine, u stanju smo da primenjujemo gornje obrasce u praktičnim slučajevima.

Ako smo do dogovorene prave vrednosti merene veličine došli pomoću aritmetičke sredine niza merenja, onda imamo sledeće relacije za apsolutnu i relativnu grešku merenja:

$$G_a = x_i - \bar{x}$$

$$G_r = \frac{G_a}{\bar{x}} = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}}$$

Gde je:

x_i jedan iz rezultata merenja iz niza ponovljenih merenja

\bar{x} aritmetička sredina rezultata merenja

Uobičajeno je da se relativna greška merenja izražava u procentima kao:

$$G_r (\%) = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100$$

pa relativna greška dobija oblik, na primer, -1% ili $0,25\%$.

Vrste grešaka kod merenja

Bez obzira na različitost uzroka koji dovode do grešaka merenja, ipak se one mogu svrstavati u tri osnovne grupe, i to:

- grube greške merenja,
- sistematske greške merenja i
- slučajne greške merenja.

Grube greške merenja

Grube greške nastaju uglavnom nepažnjom osobe prilikom očitavanja vrednosti na mernom sredstvu, neadekvatnim rukovanjem mernim instrumentima, netačnim zapisivanjem ili računanjem merenih vrednosti, pogrešnim izborom metode, što predstavlja greške subjektivnog karaktera, ili neispravnošću mernog sredstva ili pribora kada imaju objektivni karakter.

Grube greške se mogu izbeći povećanom pažnjom osobe koja obavlja merenje, boljim poznavanjem mernih sredstava i metode, kao i pravilnim održavanjem i redovnim kalibrisanjem mernih sredstava.

Verovatnoća pojavljivanja ovakvih grešaka merenja veoma je mala, pa se u obradi rezultata merenja one ne uzimaju u obzir.

Sistematske greške merenja

Sistematske greške mogu nastati zbog:

- nesavršenosti mernih metoda i mernih sredstava i mera,
- nesavršenosti mernog objekta i
- predvidljivih uticaja sredine i uticaja lica koje meri.

Većina sistematskih grešaka ima stalnu vrednost, a time i određen predznak, a manji broj se menja po određenom zakonu i to pri svim ponovljenim merenjima jedne fizičke veličine. Definiše se na sledeći način:

Sistematska greška merenja je komponenta greške merenja koja, tokom niza merenja iste merene veličine, ostaje stalna ili se menja na predvidiv način.

Da bi se sistematske greške poništile ili umanjile, treba:

- odstraniti njihove uzroke pravilnim izborom metode merenja i mernih sredstava i obezbeđenjem referentnih uslova sredine, ili
- odrediti i primeniti odgovarajuće korekcije.

Svako korektno obavljeno merenje pretpostavlja eliminisanje najvećeg dela sistematskih grešaka merenja, na jedan od dva poznata načina, ali neminovno je da jedan deo grešaka ostane prisutan, bilo zbog njihovog nepoznavanja, bilo zbog nedovoljno preciznih korekcija. Ovaj deo grešaka naziva se neisključene sistematske greške.

Slučajne greške merenja

Rezultat merenja minus ona srednja vrednost koju bi dobili izvršivši beskonačno mnogo merenja mereći sa istom pažnjom, istim mernim sredstvima, istom metodom i pod istim uslovima.

Ako ista osoba više puta obavlja merenje sa istom pažnjom, istim mernim sredstvima, istom metodom i pod istim uslovima dobijaće rezultate koji će se ipak razlikovati. Do rasipanja rezultata dolazi usled slučajnih grešaka koje nije moguće ni predvideti ni kontrolisati niti na njih primeniti korekcije jer se menjaju i po veličini i po znaku.

Slučajna greška merenja je komponenta greške merenja koja se tokom niza merenja iste merene veličine menja na nepredvidiv način.

Za razliku od sistematskih grešaka koje rezultat merenja prave netačnim, slučajne greške taj rezultat prave nepouzdanim.

Tako za razliku od sistematskih grešaka, slučajne greške se ne mogu eliminisati, ali se njihov uticaj može smanjiti.

Povećanje broja ponovljenih merenja i primena statističke metode obrade rezultata su jedini postupci koji u tome mogu pomoći

Najveća dopuštena greška mernog sredstva

- **Najveća dopuštena greška mernog sredstva** je najveća greška mernog sredstva, dozvoljena tehničkom specifikacijom mernog sredstva, metrološkim propisima ili drugom regulativom, vezanom za dato sredstvo.

Ova metrološka karakteristika mernog sredstva može biti data na više načina i to kao:

- Čisto relativna greška
- Čisto apsolutna greška
- Složena greška

Čisto relativna greška

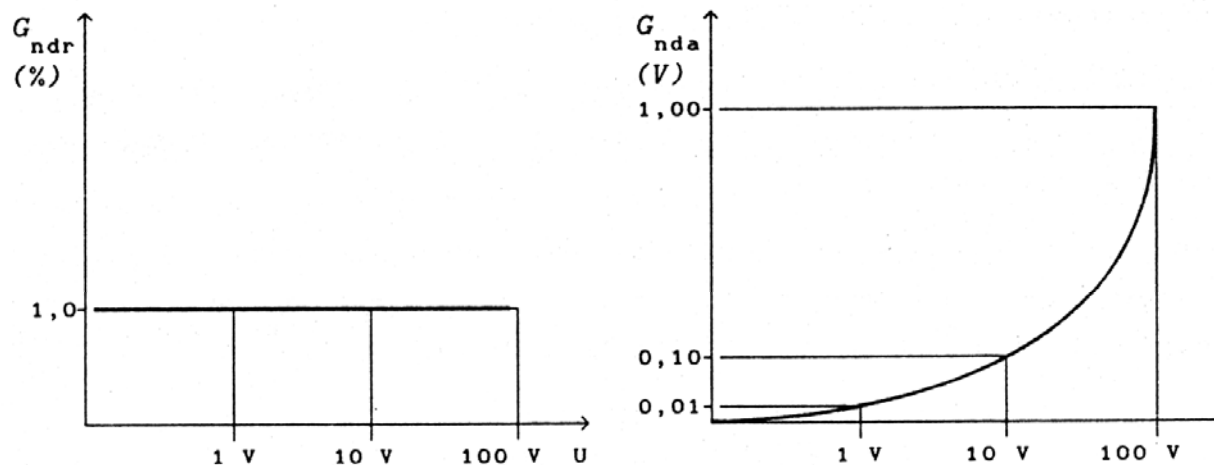
Čisto relativna greška u obliku:

$$G_{nd} = \pm X \% pv$$

gde oznak "*pv*" znači "od pokazane vrednosti", "od očitane vrednosti" ili "od ulazne vrednosti" za merne instrumente tj. "od postavljene vrednosti" za generatore i "od nazivne vrednosti" za mere.

Prema tome, u ovom slučaju najveća dopuštena greška je data u obliku relativne greške pa se može preciznije nazvati najveća dopuštena relativna greška mernog sredstva

Ako se ova relativna greška, za svaku vrednost merene veličine posebno, preračuna u apsolutnu grešku, može se dobiti odgovarajuća najveća dopuštena apsolutna greška mernog sredstva, koja nije konstantna unutar mernog opsega kao najveća dopuštena relativna greška, već je promenljiva, zavisi od merene veličine i proporcionalna je sa njom. Najmanja je na početnom delu opsega, a najveća na kraju opsega.



Slika 3.17. Dijagrami grešaka kod najveće dopuštene greške oblika "X % p_v" (X = 1)

Čisto apsolutna greška

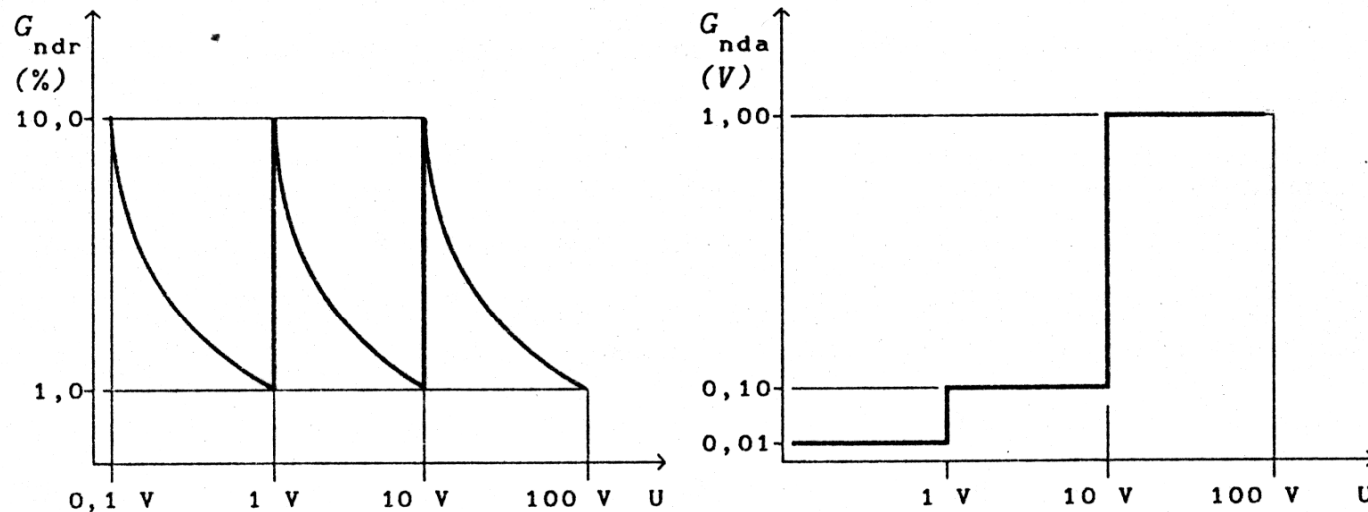
Čisto apsolutna greška u obliku:

$$G_{nd} = \pm Y \% ks$$

gde oznaka "*ks*" znači "od kraja skale", "od pune skale", ili "od opsega".

Prema tome, u ovome slučaju najveća dopuštena greška zavisi isključivo od kraja skale tj. od postavljenog opsega merenja na mernom sredstvu, i u apsolutnom iznosu greška je konstantna unutar jednog mernog opsega.

Zašto je potrebno izračunavati najveću dopuštenu relativnu grešku u procentima za pojedine merne tačke ili čak izrađivati dijagram ove greške. Radi se o tome da za sve kombinacije najveće dopuštene greške koju daje proizvođač, korisnik mernog sredstva nije u stanju da na osnovu njih izvrši procenu podobnosti predmetnog mernog sredstva za konkretno merenje.



Slika 3.18. Dijagrami grešaka kod najveće dopuštene greške oblika "Y % ks" (Y = 1)

Složena greška

Složena greška u obliku:

za analogne (voltmetre):

$$G_{nd} = \pm (X \% pv + Y \% ks + Z_1 mV)$$

za digitalne instrumente :

$$G_{nd} = \pm (X \% pv + Y \% ks + Z_2 dig)$$

gde zadnji sabirak u obe relacije za najveću dopuštenu grešku označava dodatnu najveću dopuštenu apsolutnu grešku datu kao fiksni broj jedinica merene veličine kod analognih instrumenata, ili kao fiksni broj cifara za digitalne instrumente.

Definicije za X , Y i Z :

$$X \% pv = \frac{x - x_0}{x_0} \cdot 100$$

$$Y \% ks = \frac{x - x_0}{x_{\max}} \cdot 100$$

$$Z_1 mV = x - x_0 (mV)$$

$$Z_2 dig = x - x_0 (dig)$$

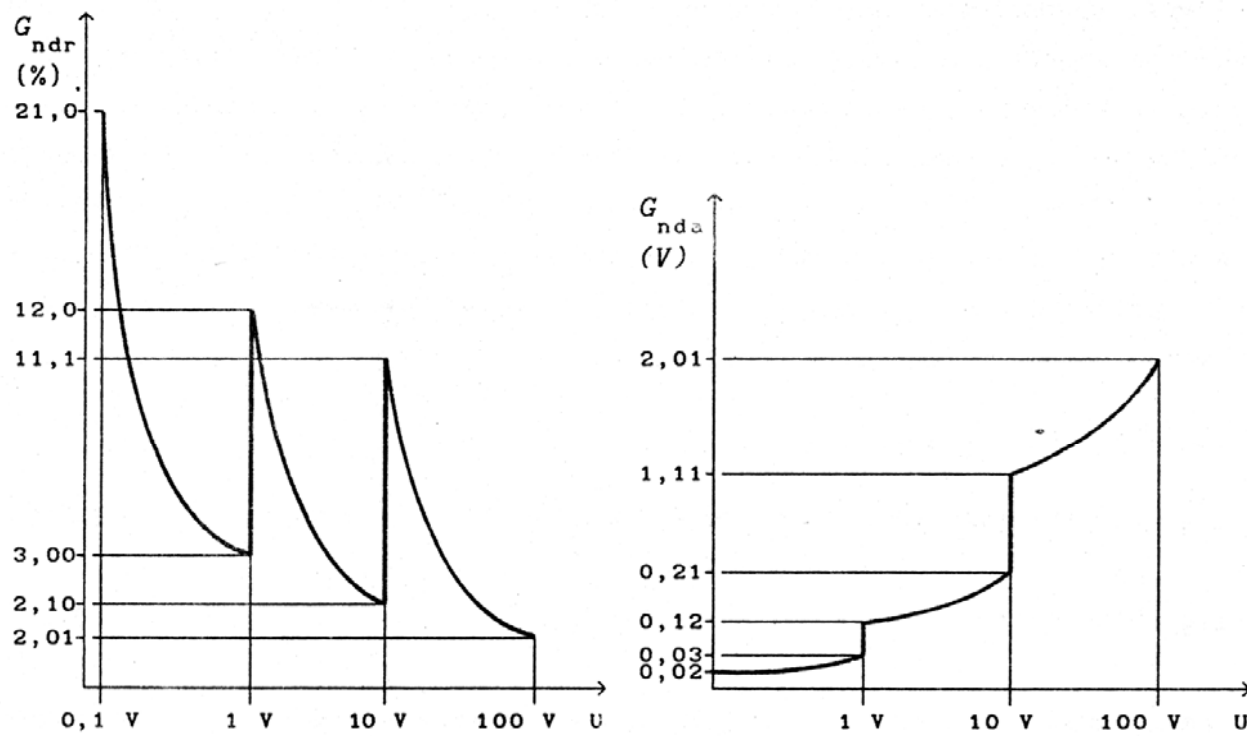
Gde je:

x izmerena vrednost

x_0 usvojena prava vrednost

x_{\max} kraj skale

Postavlja se pitanje zašto je najveća dopuštena greška komponovana upravo na ovaj način. Razlozi potiču od sledećih elemenata: pojedini delovi mernog instrumenta različito doprinose ukupnoj greški merenja.



Slika 3.20. Dijagrami grešaka kod najveće dopuštene greške oblika "X % pv + Y % ks + Z₁ mV" (X, Y = 1, Z₁ = 10)

Klasa tačnosti

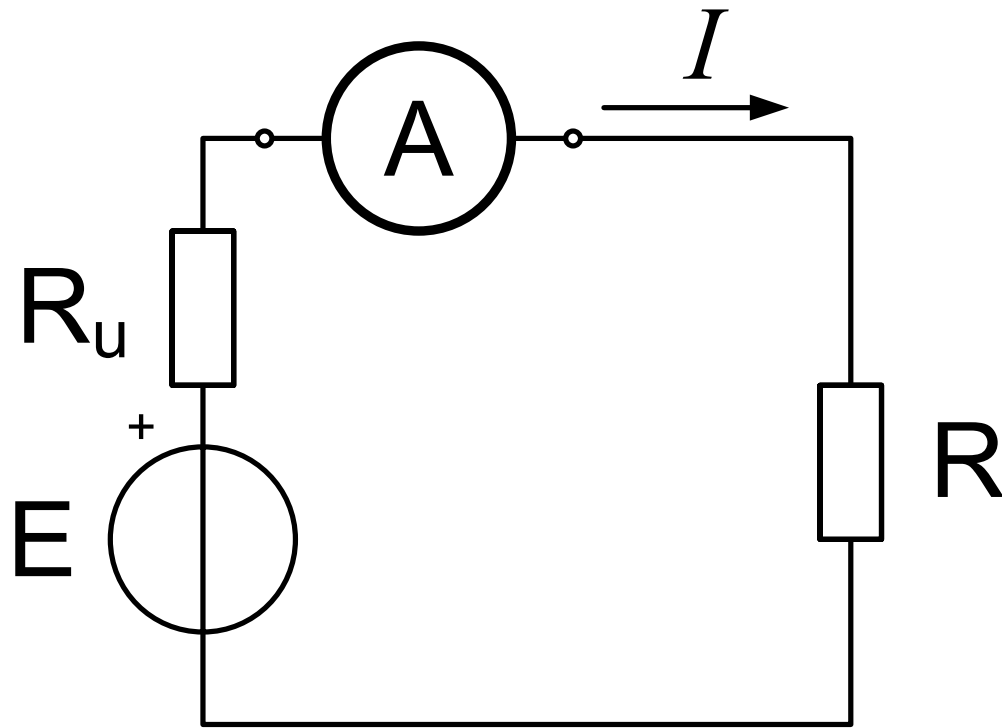
Klasa tačnosti je klasa mernog instrumenta koji zadovoljava određene metrološke zahteve potrebne za održavanje grešaka u određenim granicama.

Klasa određenog instrumenta se definiše jednačinom:

$$K = \left| \frac{G_{nda}}{x_{\max}} \right| \cdot 100$$

i na primer prema jugoslovenskim standardima za pokazne instrumente (JUS L.G1.020) merni instrumenti se svrstavaju u klase tačnosti 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; i 5.

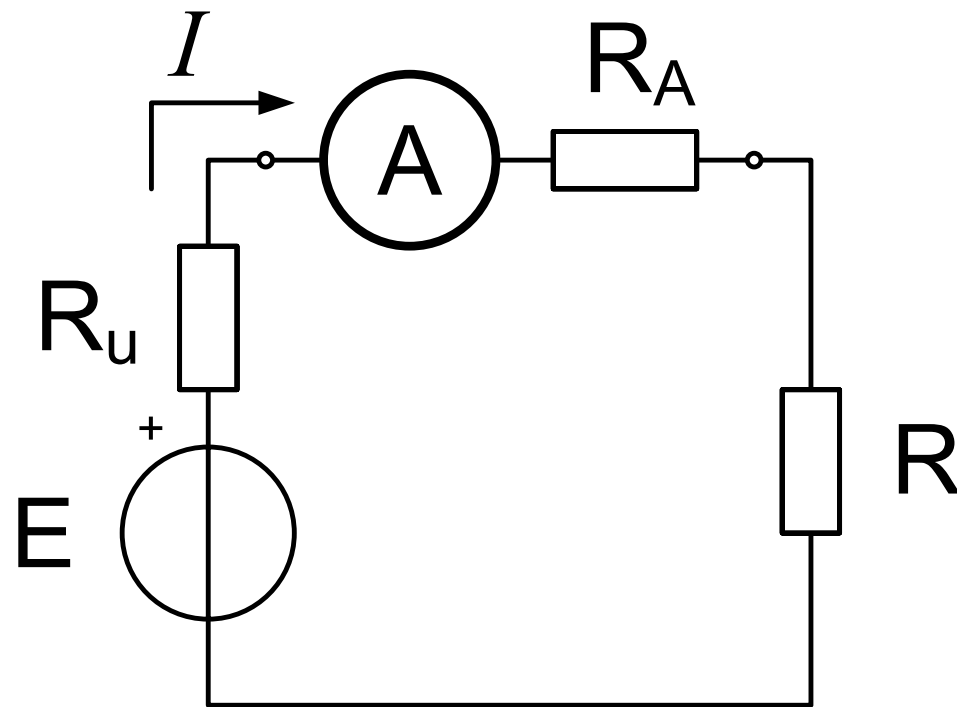
Idealni ampermetar



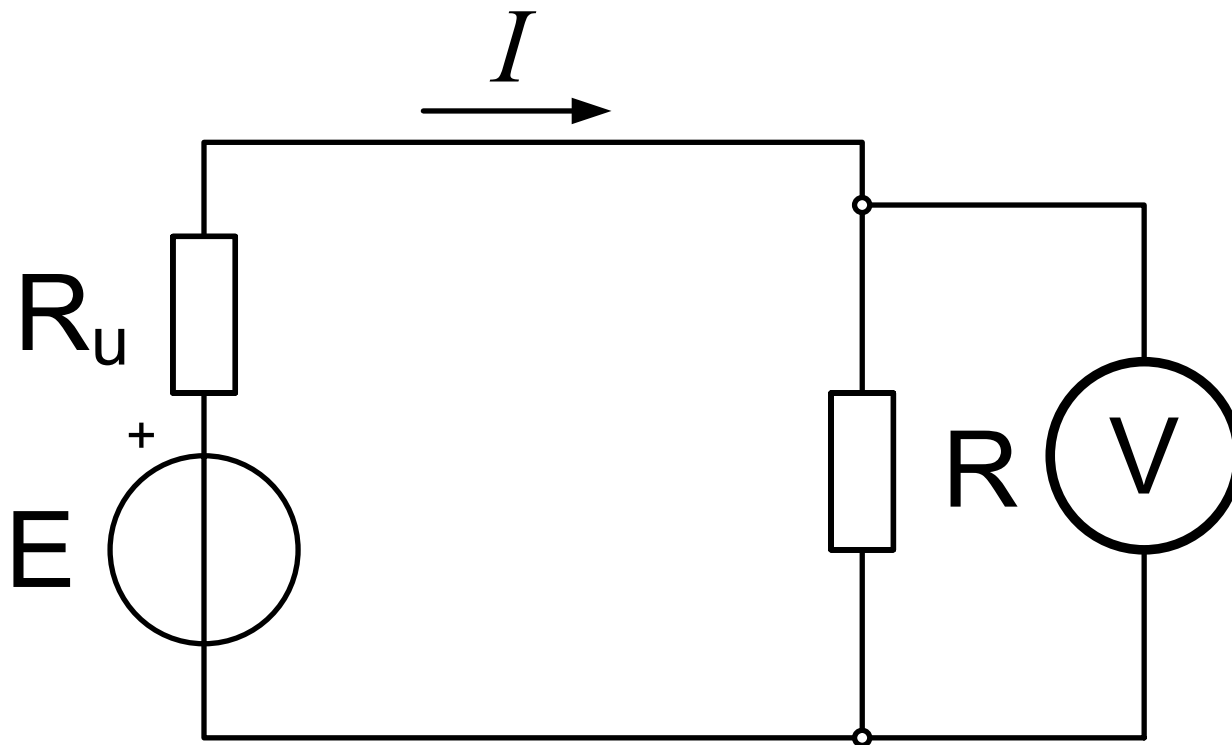
Ampermetar

- Ampermetar je instrument koji meri jačinu struje
- Uključuje se serijski u granu u kojoj merimo jačinu struje
- Idealni ampermetar ne menja napone i struje u mreži, nema pada napona na njemu
- Na realnom ampermetru postoji pad napona i menjaju se struje i naponi u mreži

Realni ampermetar



Idealni voltmeter



Voltmetar

- Meri razliku potencijala, napon, između dve tačke mreže
- Spaja se na tačke stezaljkama između kojih merimo razliku potencijala
- Idealni voltmetar ne menja napone i struje u mreži, kroz voltmetar ne teče struja
- Realni voltmetar utiče na napone i struje u mreži

Realni voltmetar

