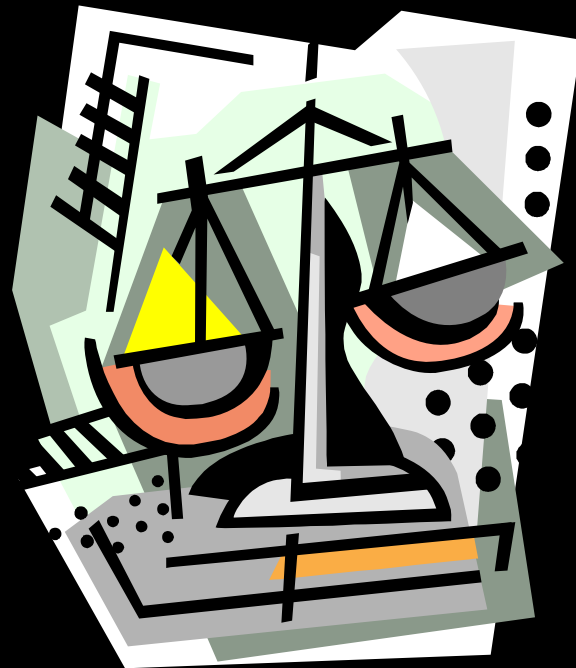


UVOD U METROLOGIJU

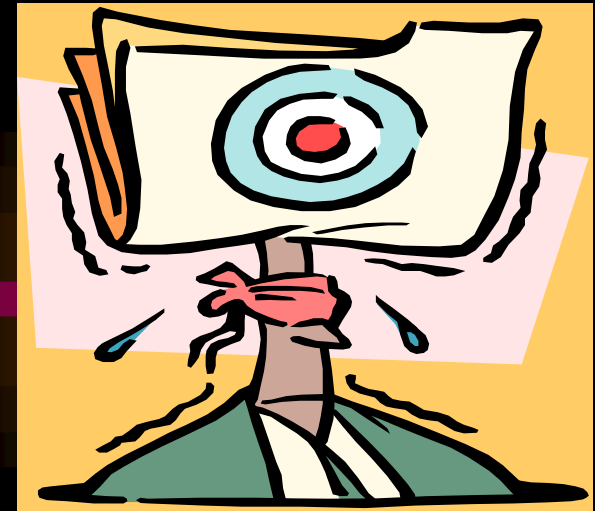




Merenje je nastalo kao rezultat potrebe za kvantitativnim karakterisanjem prirodnih pojava, a direktno je rezultat opažanja i potrebe za poređenjema.

U anglosaksonskoj literaturi preovlađuje mišljenje da je do kvalitativne promene na relaciji POSMATRANJE – MERENJE došlo u 17. veku kada je Frensis Bekon (engleski filozof) rekao da se “**bez mogućnosti ostvarenja kvantitativnih merenja, nauka neće razvijati**”.

Šta je Merenje ?



MERENJE je skup eksperimentalnih postupaka koji imaju za cilj određivanje jedne veličine, ili

MERENJE je proces poredjenja vrednosti nepoznate veličine sa veličinom koja je uzeta za jedinicu mere.

Šta je Metrologija ?



Nauka koja se bavi:

- metodama merenja pre svega fizičkih veličina,
- realizacijom i održavanjem etalona fizičkih veličina,
- razvojem i izradom mernih sredstava, i
- obradom i analizom izmerenih rezultata.



Metrologiju možemo podeliti na:

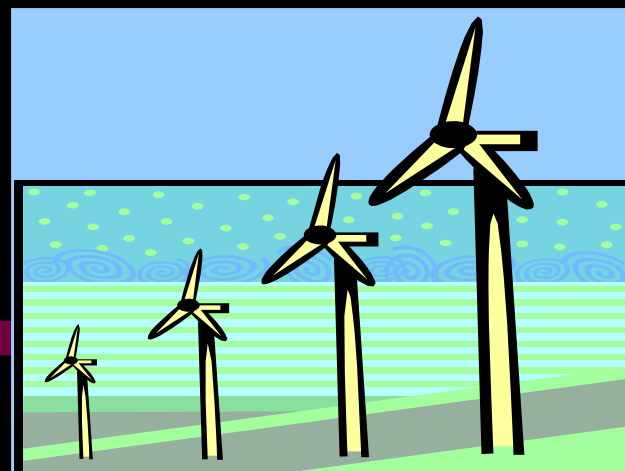
1. zakonsku metrologiju (regulativu),
2. industrijsku metrologiju, i
3. naučnu metrologiju.

Zakonska metrologija



Oblast koju reguliše država zakonima i propisima. Zakonska metrologija obezbedjuje: merno jedinstvo u zemlji, razvoj metrologije u skladu sa tehnološkim razvojem zemlje, povećanje kvaliteta roba i usluga, zaštitu potrošača u kupoprodajnim odnosima, i kontrolisanu zaštitu čovekove životne i radne sredine.

Industrijska metrologija



Oblast koja omogućuje da se industrijski i drugi proizvodi izradjuju u skladu sa međunarodnim i regionalnim standardima.

Industrijska metrologija → standardizacija (CE, TÜV, ..), garantovanje kvaliteta (ISO).

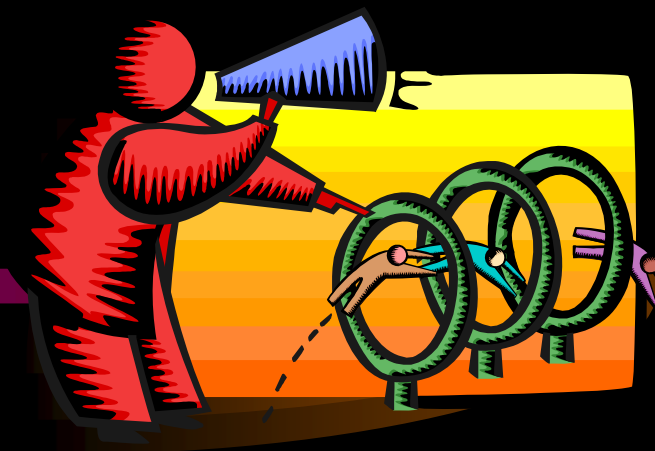
Kvalitet proizvoda predstavlja skup osobina kojim se ostvaruje kvalitet rada i življenja → ocenjivanje kvaliteta je merenje karakteristika veličina.

Naučna metrologija



Oblast koja objedinjuje razvojni i naučno istraživački rad u oblasti metrologije, i koja uključuje merenje najveće tačnosti i preciznosti u metrološkim laboratorijama.

DEFINICIJE

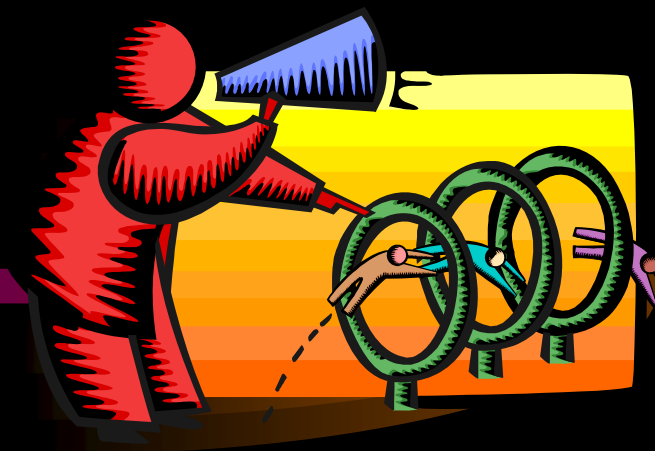


Fizička veličina je osobina pojave, tela ili supstance koja može da se razlikuje kvalitativno i odredi kvantitativno.

Osnovna fizička veličina je dogovorena kao nezavisna od bilo koje druge veličine.

Izvedena fizička veličina se može definisati kao funkcija osnovnih veličina tog sistema.

DEFINICIJE



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.

Međunarodni sistem jedinica

OSNOVNA VELIČINA	OSNOVNA MERNJA JEDINICA	
	NAZIV	OZNAKA
VREME	SEKUND	s
DUŽINA	METAR	m
MASA	KILOGRAM	kg
ELEKTRIČNA STRUJA	AMPER	A
TEMPERATURA	KELVIN	K
SVETLOSNA JAČINA	KANDELA	Cd
KOLIČINA MATERIJE	MOL	mol

Osnovne jedinice



Metar je dužina putanje koju u vakuumu predje svetlost za vreme od $1/299792458$ sekunde. (1983)

Kilogram je definisan na bazi Plankove konstante (2019)

Sekund je trajanje od 91192631770 perioda zračenja koje odgovara prelazu između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja atoma cezijuma 133. (1967)

Osnovne jedinice



Amper je definisan preko elementarnog naelektrisanja (2019)

Kelvin je definisan preko Bolcmanove konstante. (2019)

Kandela je definisana preko efikasnosti monohromatskog zračenja na frekvenciji od 540×10^{12} Hz,. (2019)

Mol je definisn tako što jedan mol substance sadrži tačno $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ elementarnih entiteta te supstance (2019)

Važan element merenja je PLANIRANJE:

1. Koje fizičke veličine treba da budu izmerene?
2. U kojim opsezima je potrebno meriti fizičke veličine od interesa?
3. U koliko mernih tačaka je potrebno meriti pojedine fizičke veličine, posmatrajući svaki merni opseg i svaku mernu tačku posebno?
4. Da li se potrebna merna oprema može komercijalno nabaviti, ili je potrebno da neki deo opreme ili pribora bude posebno izradjen za ovaj zadatak?
5. Koje su bezbednosne mere neophodne, ako je prisutna opasnost u toku merenja?
6. Da li su predvidjena merna sredstva kalibrisana od strane ovlašćene metrološke laboratorije?
7. Koji su finansijski izvori na raspologanju, i da li se troškovnik uklapa u budžet?



MERNA SREDSTVA

Merno sredstvo je aparat sa normiranim karakteristikama koje reprodukuju ili memorišu (čuvaju) jednu ili više mernih jedinica.

Merna sredstva se dele na:

- **materijalizovane mere,**
- **merne instrumente, i**
- **merne pretvarače.**



Materijalizovane mere su sredstva koja se koriste za reprodukovanje mernih jedinica – etaloni

Primeri: 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 su aparati koji samostalno ili u sklopu sa drugim aparatima služe za merenje.

Merni instrumenti mogu biti pokazni (npr. ampermetar, vatmetar, termometar), ili registrujući ("grafije", memorije). Instrument može da prikazuje trenutnu vrednost, kumulativnu (integrisanu) veličinu, i njen izvod (detektori "pika"), itd.

Prikazivanje ili memorisanje može biti analogno ili digitalno.

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



Merni uređaji – merni instrumenti i merni pretvarači



UPOTREBNE KARAKTERISTIKE MERNIH UREĐAJA

Normalni uslovi određuju granice merene veličine i uticajnih veličina unutar kojih se može primeniti merni uređaj.

Granični uslovi su ekstremni uslovi koje uređaj može da izdrži bez degradacije uređaja.

Referentni uslovi su tačno zadati uslovi u kojima se mora obaviti merenje – baždarenje.

Naziv	Jedinice	Referentni uslovi	Normalni uslovi	Granični uslovi	Transportni uslovi
Temperatura ambijenta	°C	20±1	-20 do +70	-20 do +70 3)	-30 do +70 3)
Temperatura merne sonde	°C	20±1	-200 do +450	-200 do +500	-50 do +100
Relativna vlažost	%	10 do 50	0 do 80 4)	0 do 90	0 do 100
Frekvencija vibracija	Hz			≤500	≤500
Vibraciono ubrzanje	9.81 m/s ²			≤2 ¹⁾	≤2 ¹⁾
Amplituda vibracija	mm			≤0.21 ²⁾	≤0.21 ²⁾
Udar	9.81 m/s ²			≤100	≤100
Napon napajanja	V	24±1	24±1	12 do 36	
Linijski otpor	Ω	300	0 5) do 600	0 5) do 1100	

MERNI OPSEG I RASPON



Merni opseg je skup vrednosti merne veličine za koje je greška merenja unutar dozvoljenih granica (npr. voltmetar koji meri od 0 do 100 V, ampermetar koji meri od 0 do 10 mA).

STATIČKE KARAKTERISTIKE



1. TAČNOST
2. PRECIZNOST
3. REZOLUCIJA
4. LINEARNOST
5. OSETLJIVOST

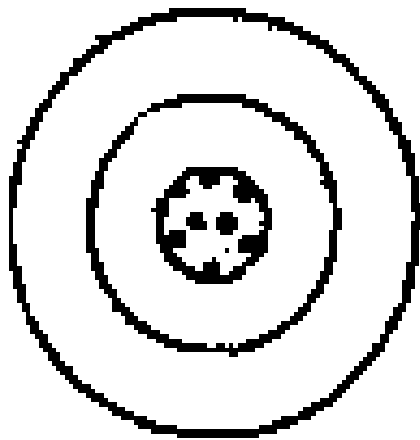
6. POKRETLJIVOST
7. STABILNOST
8. PONOVLJIVOST
9. HISTEREZIS

1) **Tačnost** je stepen slaganja pokazivanja mernog uređaja sa stvarnom vrednošću merene veličine. Određuje se testiranjem uređaja sa etalonima, pri tačno definisanim uslovima, velik broj puta. Tačnost je definisana najvećom ostvarenom greškom.

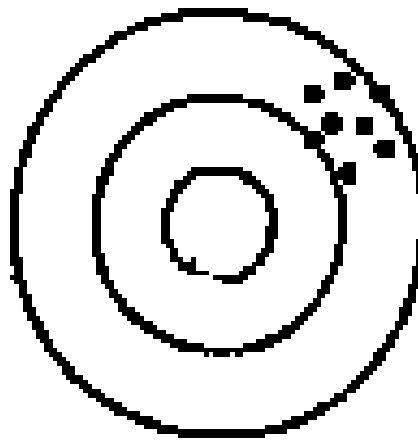
2) **Preciznost - ponovljivost** je sposobnost da uređaj pokazuje vrednosti koje su međusobno bliske ili iste. Način koji na najbolji način pokazuje preciznost je standardna devijacija. Standardna devijacija je statistička mera ponovljivosti merenja i definiše se kao

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

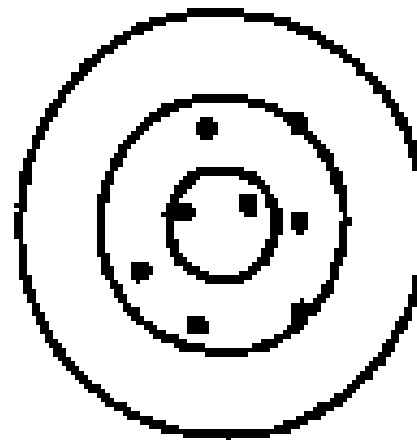
Važno je razlikovati preciznost od tačnosti:



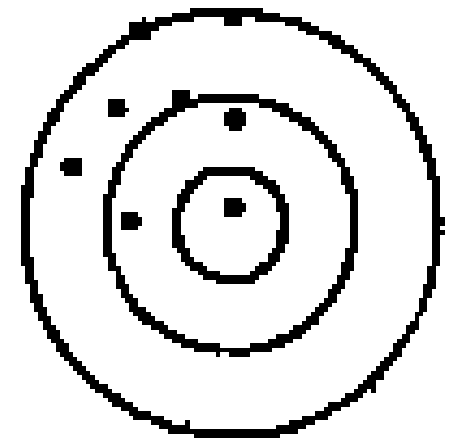
TAČNO i
PRECIZNO



NETAČNO i
PRECIZNO



TAČNO i
NEPRECIZNO



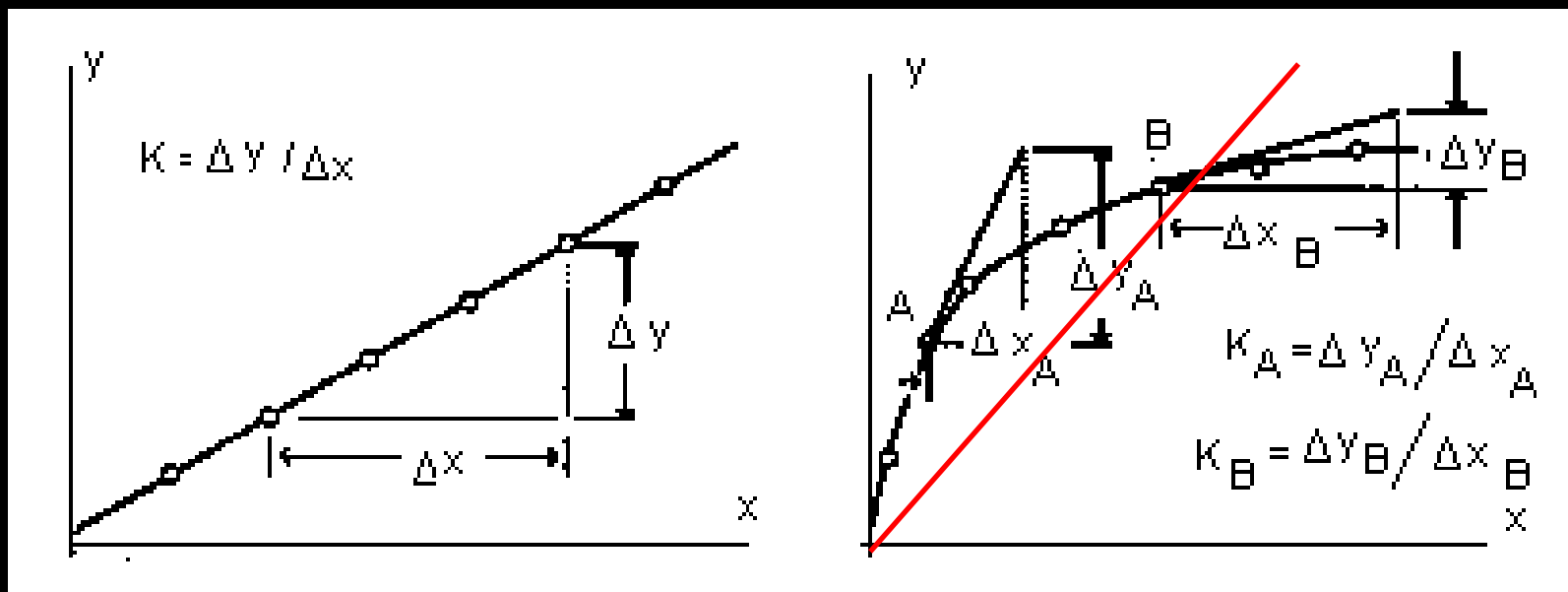
NETAČNO i
NEPRECIZNO

3) **Razlaganje - rezolucija** mernog uređaja je sposobnost razlikovanja bliskih vrednosti. Ako se radi o uređaju sa analognom indikacijom onda je najmanji podeok moć razlaganja, a ako se radi o digitalnom očitavanju, tada je jedinica poslednje cifre karakteristika razlaganja.

Potrebno je uvek definisati razlaganje u odnosu na opseg merenja, npr. $1 \mu\text{V}$ u odnosu na $U=1.35 \text{ V}$. Često se taj odnos definiše kao odnos najmanje mere i opsega instrumenta, odnosno skretanja pune skale u procentima. Kada se radi o digitalnom instrumentu tada je od interesa jedinica poslednje cifre u odnosu na broj cifara.

4) **Linearnost** je mera odstupanja statičke karakteristike mernog uređaja od idealne prave.

Statička karakteristika je kriva koja prikazuje vezu između merene veličine i pokazivanja uređaja u ustaljenom stanju.



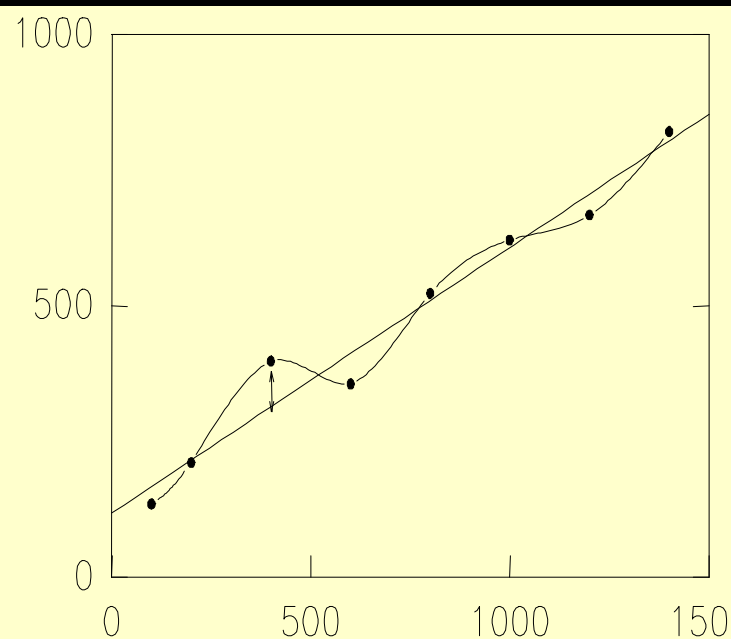
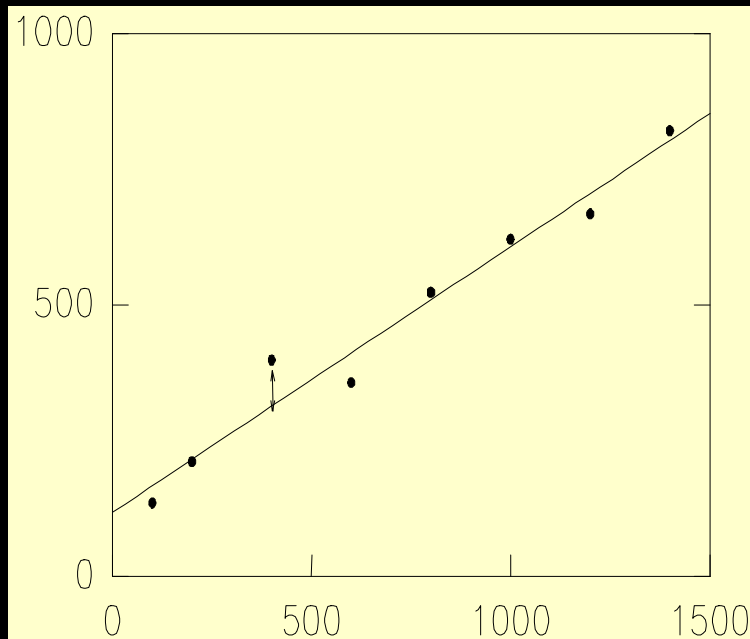
Greška linearnosti se određuje maksimalnim odstupanjem od optimalne prave. Greška linearnosti se definiše kao

$$G_i = \frac{\max |y_i - (a x_i + b)|}{y_{\max}} * 100$$

U poslednjoj jednačini je y_i izmerena i -ta vrednost za x_i ulaz, y_{\max} najveća vrednost izlaza koja može da se izmeri uređajem, a a i b nagib i odsečak optimalne prave.

Optimalna prava (linearna regresija) se dobija izračunavanjem parametara (nagib a i odsečak b) koristeći metod najmanje kvadratne greške (least square method - LSM):

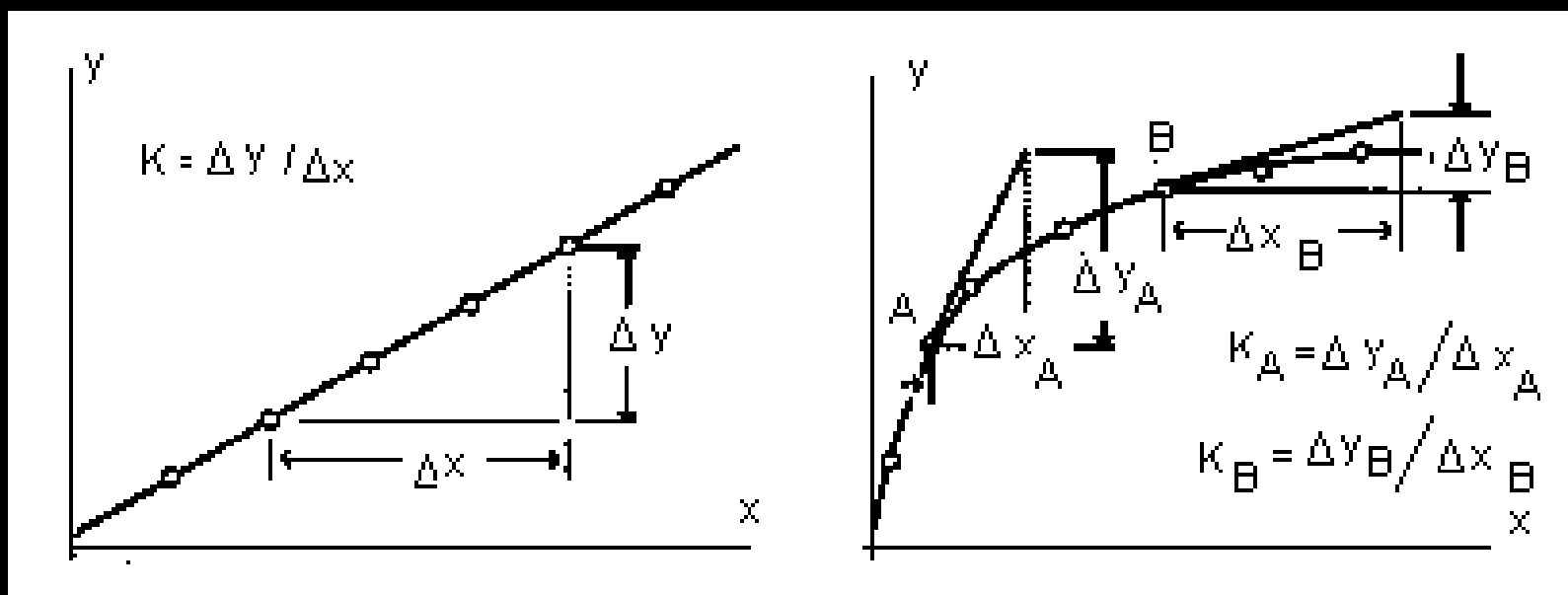
$$\min \sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \min \sum_{i=1}^N [y_i - (a x_i + b)]^2$$



5. Osetljivost mernog uređaja

Osetljivost mernog sistema ili uređaja se dobija iz: $K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$

Osetljivost može da bude konstantna (linearni sistem) ili da zavisi od veličine merne veličine. U drugom slučaju osetljivost sistema je promenljiva (desni dijagram). Npr., ako sistem ima "kvadratne" karakteristike, onda je osetljivost kriva linearno promenljiva, tj. kriva prvog reda.



6) **Pokretljivost mernog uređaja.** Pokretljivost mernog uređaja je određena pragom, odnosno veličinom promene ulaznog signala koja će dovesti do inicijalnog pomeraja. Može se odrediti na osnovu razlaganja za najmanji merni opseg. Za digitalni uređaj, na primer, koji meri napon sa četiri cifre imamo

$$100mV * 1 / 10000 = 0.01mV$$

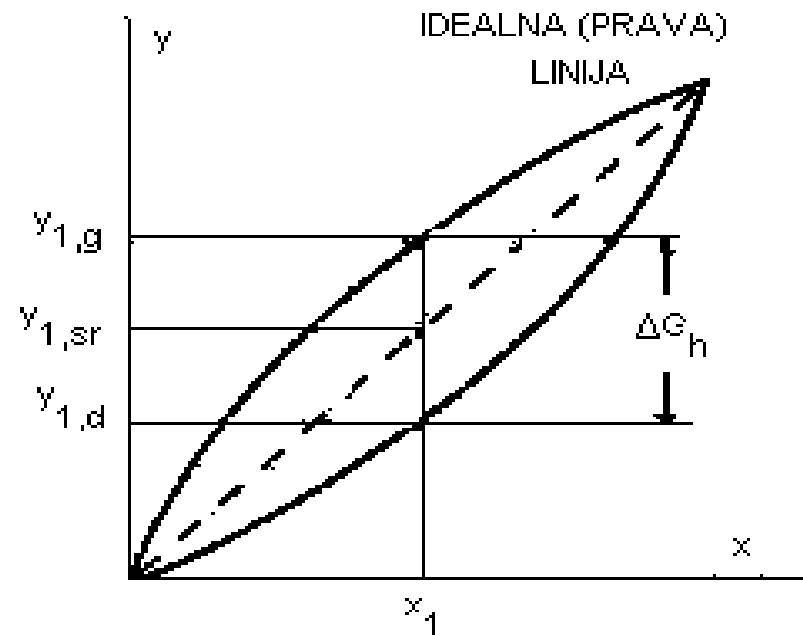
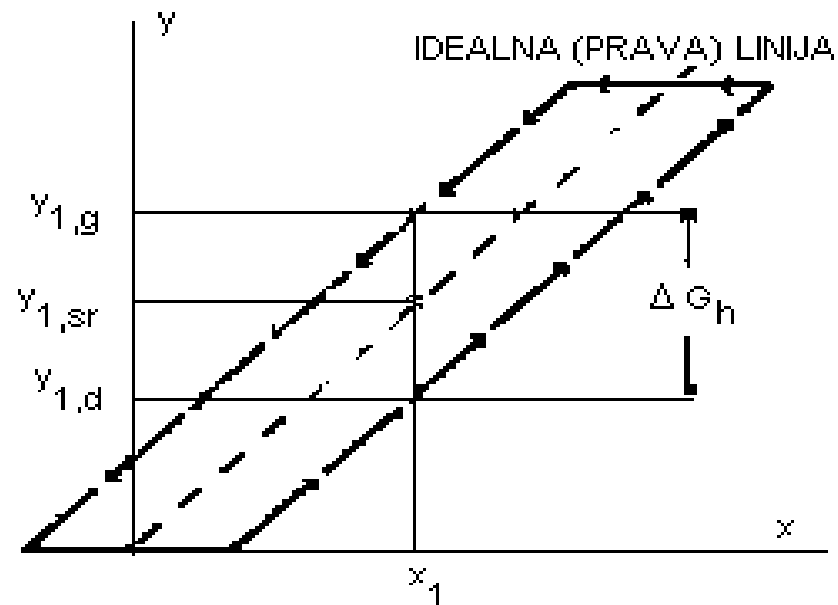
7) **Stabilnost.** Definiše sposobnost mernog uređaja da svoje metrološke karakteristike održava konstantnim. Stabilnost mernog uređaja se definiše u odnosu na razne promene, ali se pre svega odnosi na promene u vremenu.

8) Histerezis

Histerezis je pojava koja dovodi do neponovljivog pokazivanja uređaja u zavisnosti od načina promena ulazne veličine pri merenju. Može da dovede do toga da pri povećanju ulazne veličine imamo veća pokazivanja u odnosu na pokazivaja koja dobijamo kada se smanjuje ulazna veličina ili da pri povećanju ulazne veličine imamo manja pokazivanja u odnosu na pokazivaja koja dobijamo kada se smanjuje ulazna veličina. Mera histerezisa je maksimalna razlika izlaznih vrednosti koje se dobijaju za istu ulaznu vrednost.

$$G_H = \frac{y_g - y_d}{y_{\max}} * 100$$

$$G_H = \frac{y_g - y_d}{y_{\max}} * 100$$



DINAMIČKE KARAKTERISTIKE MERNIH UREĐAJA

Model uređaja, tj. matematički izraz koji povezuje ulaz i izlaz se može aproksimirati linearnom kombinacijom izvoda ulaznog i izlaznog signala:

$$\sum_{i=0}^n a_i \frac{d^i y}{dt^i} = \sum_{j=0}^m b_j \frac{d^j x}{dt^j}, \quad n \geq m$$

Red n određuje red diferencijalne jednačine i funkcije prenosa merenja.

Za $n = 0$ dobijamo nulti red tj.

$$y = \frac{b_0}{a_0} x$$

za koji je funkcja prenosa

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0}{a_0}$$

i koeficijent b_0/a_0 se naziva statička osetljivost (statičko pojačanje).

y je izlaz, tj. prikazana veličina, a x je ulaz, tj. merena veličina

Ako je red $n=1$, dobijamo diferencijalnu jedničinu prvog reda,

$$\frac{a_1}{a_0} \frac{dy}{dt} + y = \frac{b_0}{a_0} x$$

od koje se dobija i funkcija prenosa prvog reda

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0/a_0}{(a_1/a_0)s + 1}$$

Ista dif. jednačina se može napisati i u obliku

$$K = b_0 / a_0, \tau = a_1 / a_0$$

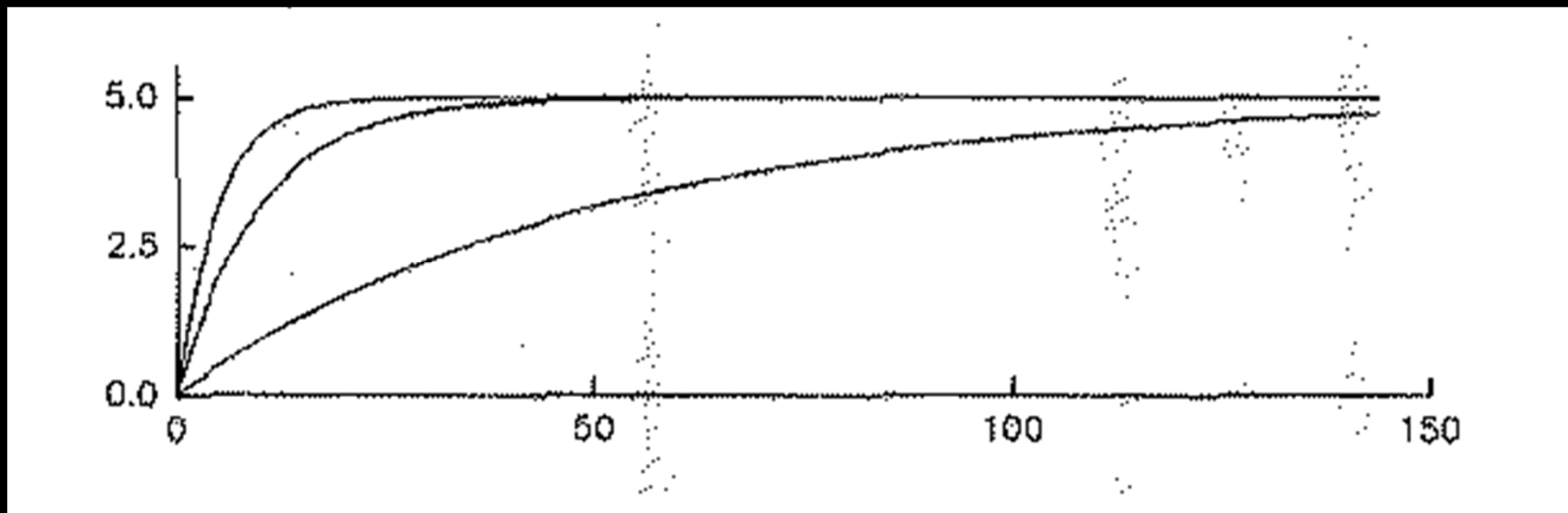
$$\tau y' + y = K x$$

Gde je K statička osetljivost (statičko pojačanje), a τ vremenska konstanta mernog uređaja

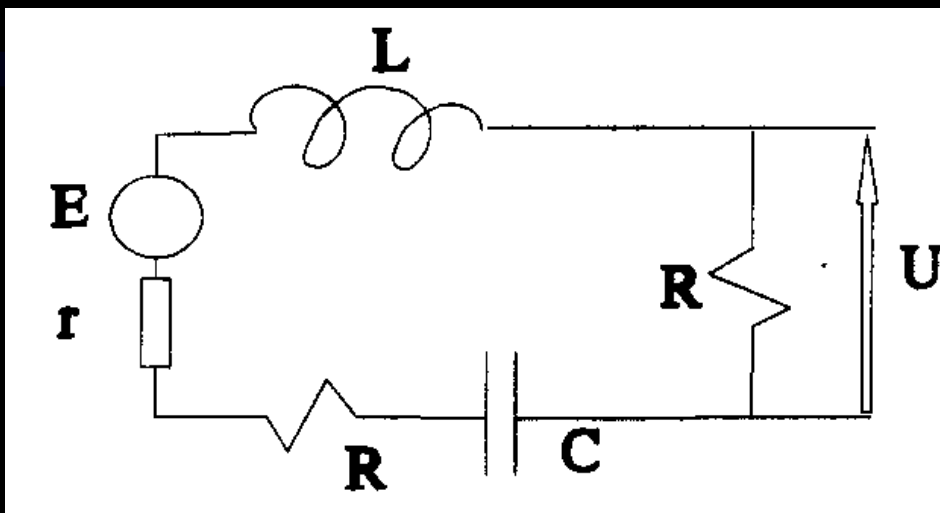
$$y = K X h(t)(1 - e^{-t/\tau}), \text{ za } x = X h(t)$$

y je izlaz, tj. prikazana veličina, a x je ulaz, tj. merena veličina

$$y = K X h(t)(1 - e^{-t/\tau}), \text{ za } x = X h(t)$$



Za vrednost $n=2$, posmatramo sistem drugog reda (vrlo čest slučaj pri merenjima), i imamo (sistem drugog reda se može modelirati kao električno kolo prikazano na slici):



y je izlaz, tj.
prikazana veličina, a
 x je ulaz, tj. merena
veličina

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x$$

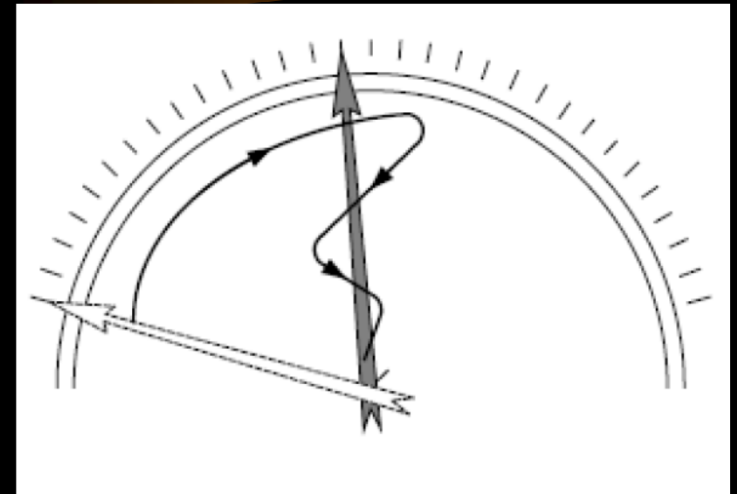
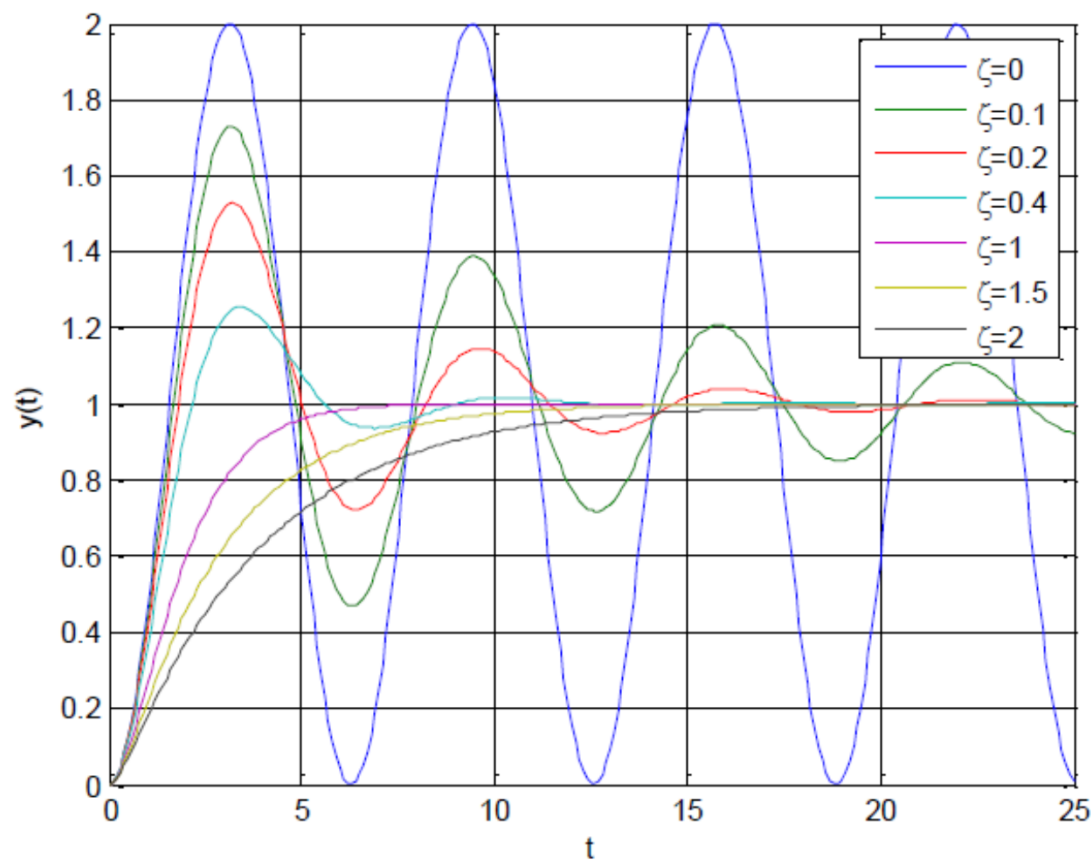
sa funkcijom prenosa

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0}{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}$$

$$a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_0 x$$

$$\omega_n^2 = a_0 / a_2, \zeta = a_1 / (2\sqrt{a_0 a_2})$$

$$y'' + 2\zeta \omega_n y' + \omega_n^2 y = K \omega_n^2 x$$



Frekvencijska karakteristika sistema

- Zavisnost amplitude i faze odziva od primenjene frekvencije ulaznog prostoperiodičnog signala
- U radnom opsegu instrumenta amplitudska karakteristika bi trebalo da bude potpuno ravna

