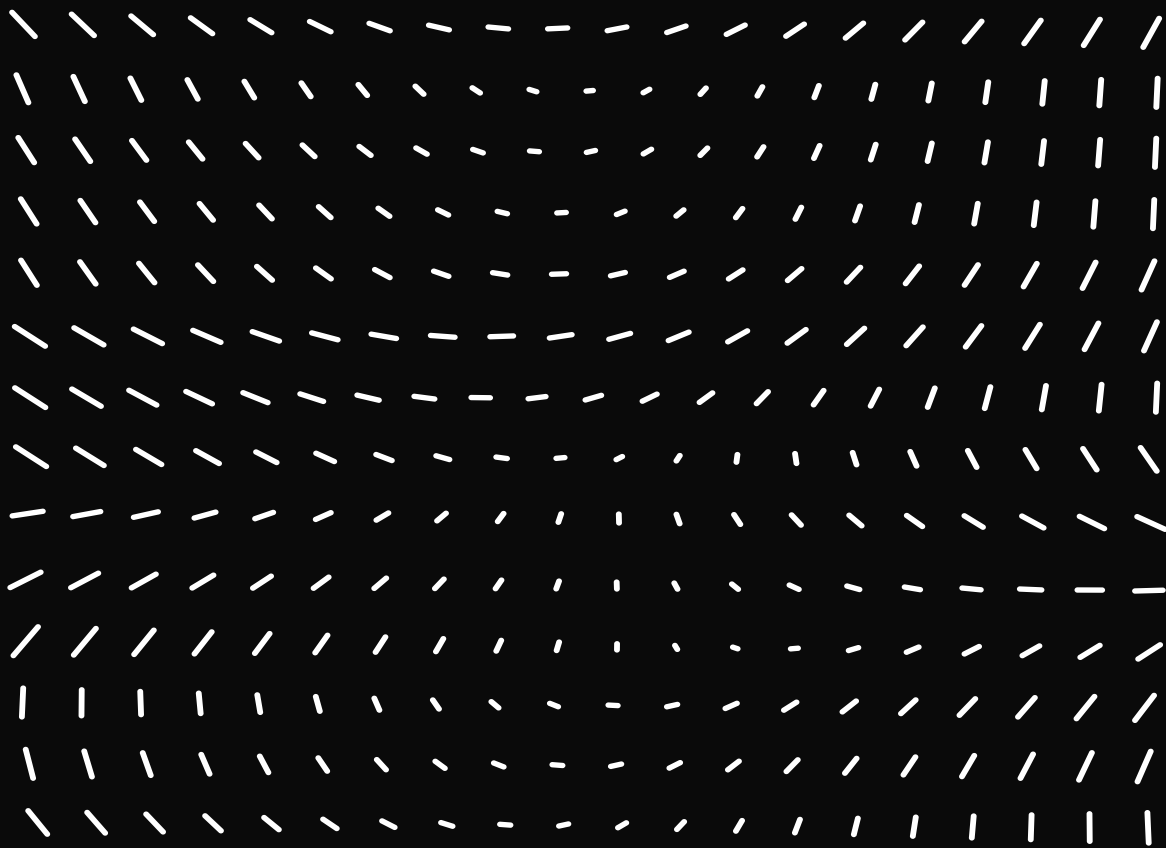


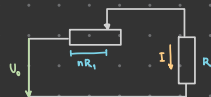
Meritve Povzetki



NASTAVLJANJE TOKA IN NAPETOSTI

A) s preduporom

- ko želimo tok skozi R nastaviti na določeno vrednost



$$R_1 = pR$$

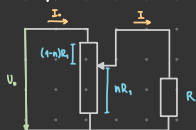
$$I = \frac{U_s}{R + nR_1} = \frac{U_s}{R(1 + np)} \quad ; \quad 0 \leq h \leq 1$$

$$U = IR = U_s \frac{1}{1 + np}$$

- želimo čim bolj linearno potezavo, izberemo $R_1 \approx R$; $p \approx 1$
- če dodamo še en drsni upor (vzporedno ali zaporedno) imamo grobo in fino nastavitvev

B) s potenciometrom

- če želimo nastavljanje napetosti na uporv od 0 do U_s
- moč porabnika mora biti majhna



$$I = \frac{U_s}{R} \frac{n}{1 + np(1-n)}$$

$$U = IR = U_s \frac{n}{1 + np(1-n)}$$

- upornosti naj bosta približno enaki
- za grobo/fino nastavitvev potenciometra rešimo zaporedno in R na drsni sponki

NAPAJALNI VIRI

- idealni napetostni vir

- ne glede na obremenitev ima na izhodu konstantno napetost
- notranja upornost je 0 Ω

- realni napetostni vir

- napetost na sponkah je odvisna od obremenitve $I = I_b$
- notranja upornost $R_0 > 0 \Omega$ vpliva na odvisnost U od I_b
- regulirani / stabilizirani viri: odvisnost od obremenitve je elektronsko popravljena
- tokovna limita I_{max} : konstantna napetost u pri $I_b \leq I_{max}$

- tokovni vir:

- konstanten tok, ne glede na obremenitev
- pri visokih obremenitvah potrebujemo visoko napajalno napetost
- napetostna limita U_{max}
- notranja upornost idealnega vira: ∞

- kombiniran vir:

- napetostni vir s tokovno limito
- ne glede na R_b lahko tok ohranja pri I_{max}

- variak:

- transformator z nastavljivim N_2
- za sinusno napajalno napetost
- ponavadi vhodna napetost iz omrežja (enaka oblika signala in frekvenca)

- funkcijski generator
 - * nastavljiva oblika, frekvenca, amplituda ...
 - * I_{max} je ponavadi majhen
 - * notranja upornost $R \approx 50 \Omega$

DOVEZOVANJE ELEMENTOV V MERILNO VEZJE

- * najprej potremo elemente z velikim tokom: žice s čevljički (velika površina $\rightarrow$ malo upornosti)
- * priključimo napetostne veje
- * pazimo na robustnost vezav
- * pri merilnih instrumentih poskušamo vključiti čim manj povzav
- * pomembna je tudi fizična razporeditev instrumentov po delovni površini
- * vključevanje in izklapljanje: napetostni vir na koncu / začetku

MERILNA NEGOTOVOST

- ločimo tip A (neodvisna opazovanja) in tip B
- ponavadi podamo standardno negotovost μ , ali razširjeno negotovost U

A) tip A

- * imamo niz izmerkov $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n$
- * eksperimentalni standardni odklon ali deviacija

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

- * združeni eksperimentalni standardni odklon (ko imamo več vzorcev pod statistično kontrolo)

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2 + \dots + (n_r-1)s_r^2}{(n_1-1) + (n_2-1) + \dots + (n_r-1)}}$$

n_k je št. meritev v posameznem vzorcu

r je št. vzorcev

- * standardna negotovost

$$\mu(x) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = s(\bar{x})$$

$$\mu(x) = \frac{s_p}{\sqrt{n}}$$

B) tip B

- * ko imamo le posamezne meritve, ostali vpliv dobimo iz predpostavk / specifikacij instrumenta

- podana je meja pogreška M

- * ne poznamo dejanskega pogreška E , je pa $E \in [-M, M]$

- * gostota verjetnosti $p(E) = \frac{1}{2} M$

- * standardni odklon:

$$\sigma = \frac{M}{\sqrt{3}}$$

- podani so podatki o umerjanju merila

- * podana je razširjena negotovost U in faktor razširitve k (ponavadi 2)

$$\mu = \frac{U}{k}$$

- * tudi temeljni pogrešek E

MEJA LASTNEGA DOGREŠKA

- ko smo v mejah merilnega območja in pod merilnimi pogoji
- meritev ne sme prečiti meje M_0
- meja je določena z razredom točnosti r in referenčno vrednostjo G_r
- različne referenčne vrednosti: G_0 - merilni doseg, G_i - izmerjena vrednost, G_k - merilni razpon
- $$M_0 = \pm \frac{r}{100} G_0$$
$$M_0 = \pm \frac{M_k}{G_i} = \pm \frac{r}{100} \frac{G_0}{G_i}$$
- referenčna vrednost je enaka vsakokratni meritvi v primeru, da imamo nelinearno oznako z razredom v krogu ①
- pri digitalnih instrumentih je ponavadi podana neposredno
- vsebuje npr. merilni doseg, izmerjena vrednost, digit ...
- tudi meja spremembe kazanja pri spremembi merilnih pogojev se izračuna tako (naskrat se spremeni samo en pogoj)

STANDARDNA NEGOTOVOST IZHODNE VELIČINE

- izhodna količina je funkcija ene ali več vhodnih količin

A) neposredne količine so neodvisne

- standardna negotovost izhodne količine

$$u_c(y) = \sqrt{(u_{u_1}(y))^2 + (u_{u_2}(y))^2 + \dots + (u_{u_n}(y))^2} = \sqrt{(c_1 u(x_1))^2 + (c_2 u(x_2))^2 + \dots + (c_n u(x_n))^2}$$

$$c_k = \frac{\partial y}{\partial x_k} \sim \text{koeficient občutljivosti}$$

$$u_{u_k}(y) = c_k u(x_k) \sim \text{deli negotovosti vhodnih veličin v negotovosti izhodnih}$$

- relativna negotovost

$$u_{r_c}(y) = \frac{u_c(y)}{y}$$

- če je posamezen prispevek negotovosti izrazito majhen, ga lahko zanemarimo:

$$u_{u_i} < \frac{u_c}{5} \quad u_{r_i} < \frac{u_{r_c}}{5}$$

B) neposredne količine korelirajo

- negotovost izhodne količine je odvisna še od faktorja korelacije r

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (c_i u(x_i))^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_i c_j r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}$$

$$r = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i) u(x_j)}$$

~ koeficient korelacije

$$u(x_i, x_j) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j) \sim \text{kovarianca}$$

RAZŠIRJENA NEGOTOVOST

- interval, v katerem je večina meritev
- raven zaupanja p je ponavadi 95% ali 99%
- $$U = k u_c(y)$$
- odvisnost med p in k je odvisna od porazdelitve (normalna, Gauss, Student, t-porazdelitev...)

$$\downarrow$$
$$t_{95} = 1,96$$

NEGOTOVOST ZARADI LOČLJIVOSTI INSTRUMENTOV

- digitalni instrumenti: $\pm \text{LSB}$
- analogni instrumenti: sami kvantiziramo
 - človeško oko razloči 1° pri 25cm je $q = 0,07\text{mm}$
 - $S = \frac{\Delta I}{\Delta G} \sim \text{občutljivost instrumenta}$
 - $Q_G = \frac{I}{S} \sim \text{ločljivost}$
- gotovost verjetnosti pogreška je enakomerna

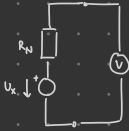
$$\mu_2(\theta) = \frac{Q_G}{2\sqrt{3}}$$

ZAOKROŽEVANJE ŠTEVILSKIH VREDNOSTI

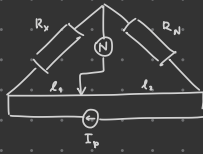
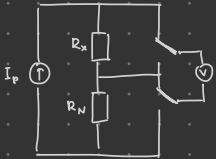
- popolni merilni rezultat je interval z izmerjeno vrednostjo in negotovostjo
- najprej zaokrožimo negotovost na 2 mesti, vedno navzgor na 1. mesto, v primeru, če je manjša od ločljivosti
- izmerjeno vrednost zaokrožimo na istem decimalnem mestu kot negotovost (normalno zaokroževanje)

MERILNE METODE

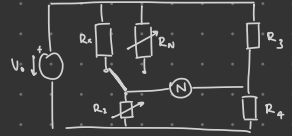
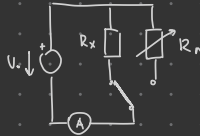
- navadna



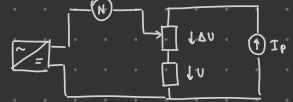
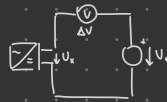
- primerjalna



- zamenjalna



- diferenčna



TEORIJA

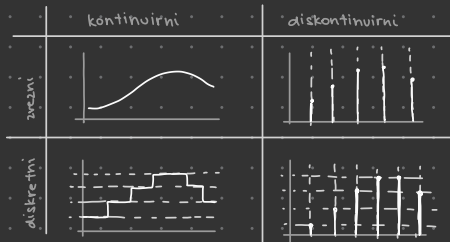
A) metode merjenja

- odklonska: odčitamo vrednost
- ničelna: ko instrument kaže 0, a vrednost izračunamo iz drugih podatkov

B) merilni postopek

- analogni: zvezno spreminjanje količin
- digitalni: merjeno v diskretnih časovnih intervalih

C) merilni signali



Č) merilna naprava

- senzor: zaznavalo
- prilagoditveni člen: preoblikovanje signala, ojačanje, filtriranje
- izhodna stopnja: prilagojeno za človeško zaznavanje

D) merilni sistem



E) digitalni merilni postopek

- v diskretnih časovnih intervalih s končno ločljivostjo
- 1) časovno vzorčenje: meritev v določenih trenutkih
 - 2) kvantizacija: merilno območje razdelimo na podobmočja
 - 3) kodiranje: zapis v številsko kodo

F) pogreški pri digitalizaciji

- navideznost: izgleda kot nižja frekvenca (zaradi premalo meritev)
- ne-koherenca: čas merjenja ni večkratnik frekvence
- ločljivost: v odvisnosti od časa
- kvantizacijska ločljivost

G) teorem vzorčenja

- frekvenca vzorčenja mora biti dvakrat večja od najvišje frekvence
- lahko uporabimo filtre, ki prepolovijo najvišjo frekvenco

H) digitalni prikazovalnik

- glede na MSD
- N , $N\frac{1}{2}$, $N\frac{3}{4}$, ... (N je število polnih mest, ulomek koliko cifre prikazuje MSE)

I) statične lastnosti

- občutljivost: razmerje spremembe izhodne & vhodne veličine. $S = \frac{dy}{dx}$
- merilni prag: najmanjša sprememba, ki se kaže na izhodu
- ločljivost: oko pri analognih, zadnje decimalno mesto pri digitalnih - digit
- ločljivost instrumenta: najmanjša razlika, ki jo je razločimo

J) dinamične lastnosti

- odzivni čas T_a : od začetka do umiritve znotraj mej
- dvizni čas T_r : od 10% do 90%
- prenihanje y_m : največje odstopanje od končne vrednosti

K) frekvenčna karakteristika

- delimo na amplitudni in fazi odziv
- frekvenčna meja f_m : ko amplituda pade na $\frac{1}{\sqrt{2}}$

L) povezava odzivnega časa in mejne frekvence

- pri $M = \pm 5\%$ je povezava $T_a = \frac{1}{2f_m}$
- časovni prostor: $T_a = \tau \ln 20$

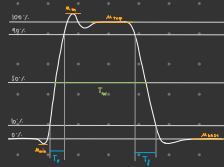
M) lastnosti merilnih naprav v informacijskem prostoru

- ena vrednost oddanega signala ima območje sprejetega signala
- amplitudne stopnje $m = 4 + \int \frac{dx}{25 + f(x)}$ $E_x = ax + b$
- množina informacije $S = \log_2(m)$
- informacijski pretok $I = \frac{S}{T_m} = \frac{1}{T_m} \log_2(m)$ $T_m \sim$ čas ene meritve

N) osnovni parametri časovno spremenljivih veličin

- statične, dinamične, kvazistatične veličine
- deterministične, nedeterministične (ali jih lahko matematično opišemo)
- pulzni signal:

- spodnji nivo (0%) : M_0
- zgornji nivo (100%) : M_1
- dvizni čas (10% - 90%) : T_r
- upadni čas (90% - 10%) : T_f
- širina impulza (50% - 50%) : T_w



O) merilni pogrešek

- razlika nazivne in prave vrednosti
- absolutni (± enoto) $E = x_i - x$
- relativni $e = \frac{E}{x} = \frac{x_i - x}{x}$

P) sistematični pogrešek ~ pravilnost

- konstantna napaka, lahko ugotovljiv razlog
- odkrijemo z različnimi metodami, menjavo delov instrumentov, spremembo vhodnih veličin, primerjavo z drugimi laboratoriji...

R) naključni pogrešek ~ natančnost

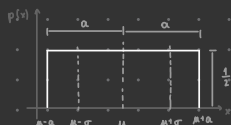
- naključna razpršenost, ne moremo kompenzirati
- točna meritev je pravilna in natančna

S) aritmetična sredina, eksperimentalni standardni odklon

- aritmetična sredina: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i,j}$
- eksperimentalni standardni odklon: $s(x) = \sqrt{\frac{\sum (x_{i,j} - \bar{x})^2}{n-1}}$
- združeni eksperimentalni standardni odklon (r serij. meritev): $s_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2 + \dots + (n_r-1)s_r^2}{(n_1-1) + (n_2-1) + \dots + (n_r-1)}}$

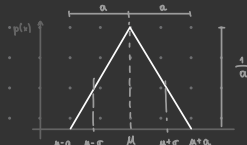
Š) vrste porazdelitev

- enakomerna



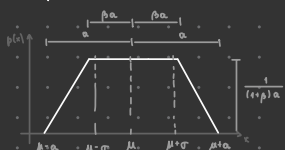
$$\sigma = \frac{M}{\sqrt{3}}$$

- trikotna



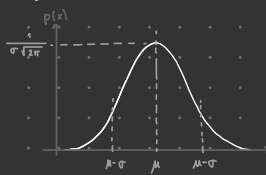
$$\sigma = \frac{M}{\sqrt{6}}$$

- trapezna



$$\sigma = \frac{M\sqrt{1+b^2}}{\sqrt{6}}$$

- gaussova



$$\sigma = \frac{M}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2}$$

T) pogreški merilnih instrumentov

- rezultat je območje vrednosti
- različni vplivi: lastni pogrešek, sprememba kazanja, ločljivost...

U) meja lastnega pogreška

- meja merilnega območja pod referenčnimi pogoji
- podana z razredom točnosti r in dogovorjeno referenčno vrednostjo x_r
- analogni: $M_x = \pm \frac{r}{100} x_r$, $m_x = \frac{M_x}{x_r}$, $x_r \sim$ lahke x_0 ali x_i
- digitalni: $M_x = \pm (a x_i + b x_0)$, $m_x = \pm (a + b \frac{x_0}{x_i})$

V) merilna negotovost

- označuje razpršenost vrednosti
- tip A: niz neodvisnih opazovanj; tip B: ena meritev in gostota verjetnosti
- skupna negotovost: $\mu = \sqrt{\mu_A^2 + \mu_B^2}$

TIP A:

$$\mu(x) = s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{n}}$$

$n \sim$ število ponovitev

$$v = \sum (n_i - 1) \sim \text{število prostostnih stopenj}$$

TIP B:

- odvisno od merilne instrumentacije, porazdelitve...
- glej vrste porazdelitev ↑

SKUPNA STANDARDNA NEGOTOVOST:

- neodvisno: $\mu_c = \sqrt{\mu_1^2(y) + \mu_2^2(y) + \dots + \mu_n^2(y)}$
- odvisno: $\mu_c(y) = \sqrt{\sum (c_i u(x_i))^2 + 2 \sum c_i c_j r_{ij} u(x_i) u(x_j)}$, $r \sim$ koeficient korelacije $[-1, 1]$

RAZŠIRJENA NEGOTOVOST:

$$U = k \mu_c(y)$$

$k \sim$ faktor razširitve

Z) zaokrožanje

- najprej negotovost - 2 mesti, navzgor.
- potem številsko vrednost - št. decimalnih mest enako negotovosti.

Ž) merski sistem

- sistemi veličin & sistemi merskih enot in etalonov.
- merski sistemi: mehanika (cm, g, s, MKS), elektromagnetika (MKS, A), optika (MKS, cd), toplota (MKS, K), SI (7).

X) temeljna enačba metrologije

$$G = \{G\} [G]$$

- veličina = številsko vrednost · enota za veličino.

Y) mednarodni sistem enot

- dolžina l [meter m]: $1\text{m} = \text{svelloba v } 1,299,792,458\text{ s}$
- masa m [kilogram kg]: etalon
- čas t [sekunda s]: $9,192,631,770$ period sevanja med dvema stanjema cezija 133
- električni tok I [amper A]: definicija
- temperatura T [kelvin K]: en $273,16$ del trojne točke vode
- svetilnost I_v [kandela cd]: sevanje $12540,10\text{ Hz}$, jakost v smeri je $1,683\text{ W}$ na steradian
- množina snovi n [mol mol]: št. delcev v $0,012\text{ kg } ^{12}\text{C}$

! stare definicije