

Einstein, Pascal ja Newton mängivad peitust.

Parasjagu on Einsteini kord otsida ja ta hakkab lugema. Kuni ta loeb, jookseb Pascal eemale ja peidab end puu taha. Newton aga jääb sinnasammas seisma, joonistab maha meetriste külgedega ruudu ja seisab siis ise sinna sisse.

Einstein lõpetab lugemise, keerab ümber, näeb Newtonit ja hõiskab rõõmsalt: "Näe, leidsingi kohe Newtoni üles!" Newton aga vangutab pead, osutab sõrmega enda ümber olevale ruudule ning tõdeb: "Võta hoogu maha, kallis Einstein. Sa leidsid ühe newtoni ruutmeetri kohta, mis tähendab, et tegelikult ei leidnud sa mind, vaid hoopis paskali!"

ISS0050 MÕÕTMINE

Viies loeng

Martin Jaanus

U02-308

martin.jaanus@ttu.ee

620 2110, 56 91 31 93

Õppetöö : <http://iscx.dcc.ttu.ee>

Teemad

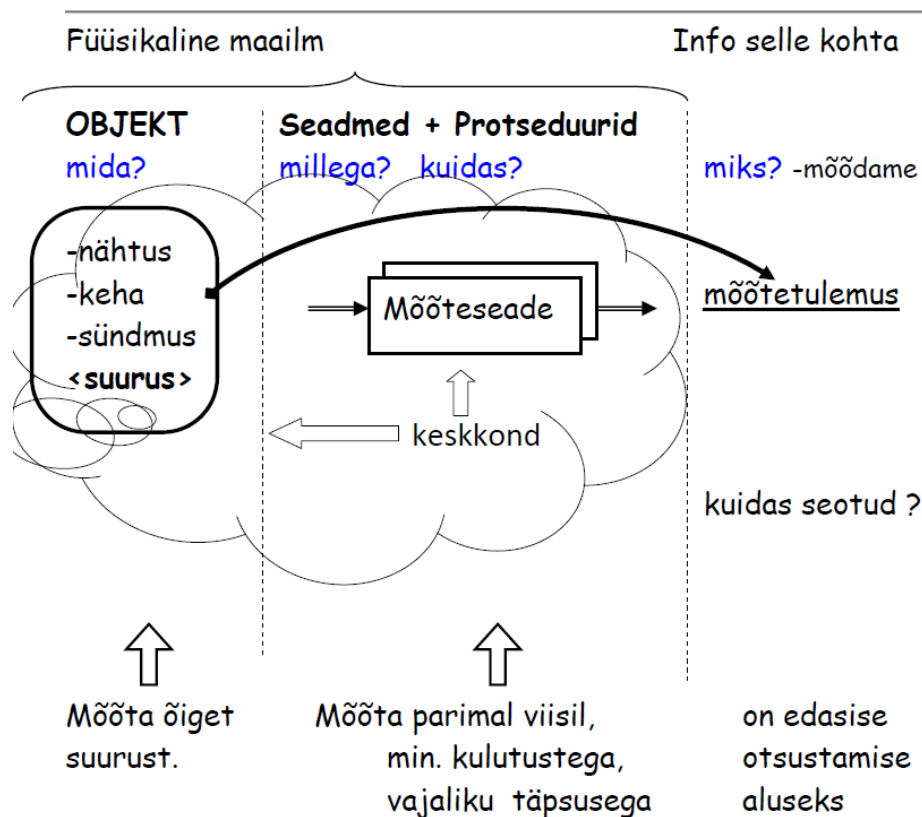
Mõõtevahendid (liigitus, vead, kasutamine)

Mis on mõõtmine ?

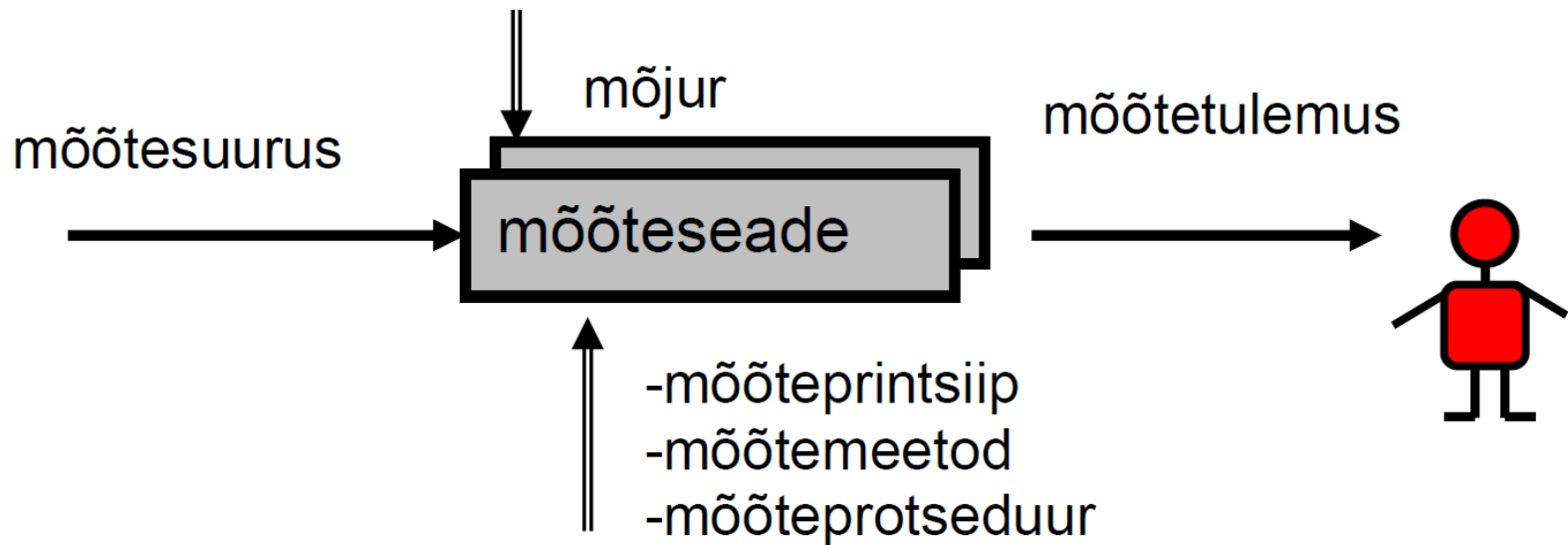
Mõõtmine on füüsikalise suuruse võrdlemine katselisel teel teise suurusega, mille väärtus on võetud ühikuks.

Mõõdame:

- füüsikalist suurust
- katselisel teel
- tehnilise vahendite abil



Mis on mõõtmine ?



Mõõteseade - võrdlust teostav füüsikaline seade

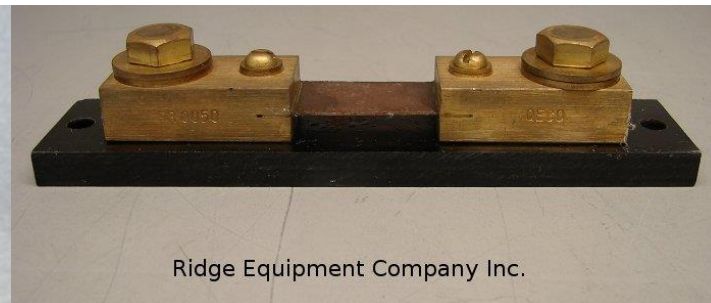
Mõõtmine viiakse läbi mõõtevahenditega,
nende täpsus (viga) on normitud.

Mõõtevahendid (1)

1. Mõõt

Kindla füüsikalise suuruse esemeline realisatsioon (1 kg, 10 Ω , joonlaud, ...)

- nimiväärtus, kirjeväärtus
- nominaalväärtus + viga
- üheväärtuseline, mitmeväärtuseline, komplekt, ...



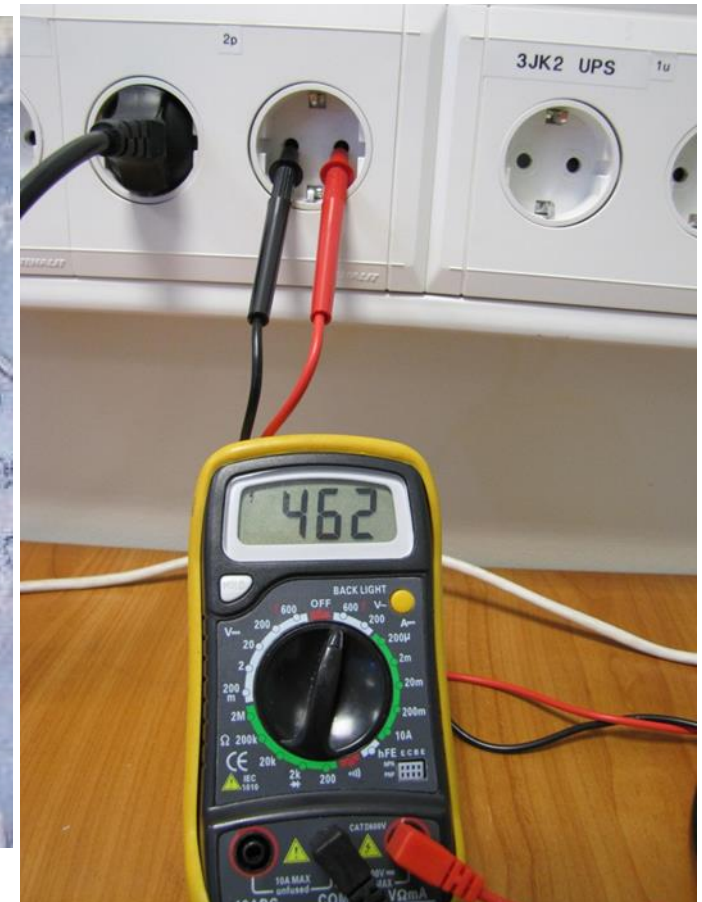
Pilt: osta.ee



Mõõtevahendid (2)

2. Mõõteriist (instrument)

Väljastab mõõtetulemuse inimesele vastuvõetavas kujus

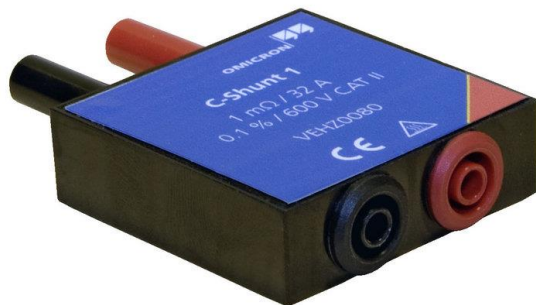


Mõõtevahendid (3)

3. Mõõtemuundur (transducer)

Muundab sisendsuuruse kujusse, mis on sobiv edasiseks kasutamiseks
 $y=F(x)$ - muunduskartakteristik

- esmane mõõtemuundur
- mastaabimuundur
- ADM



Mõõtevahendid (4)

4. Mõõtesüsteemid

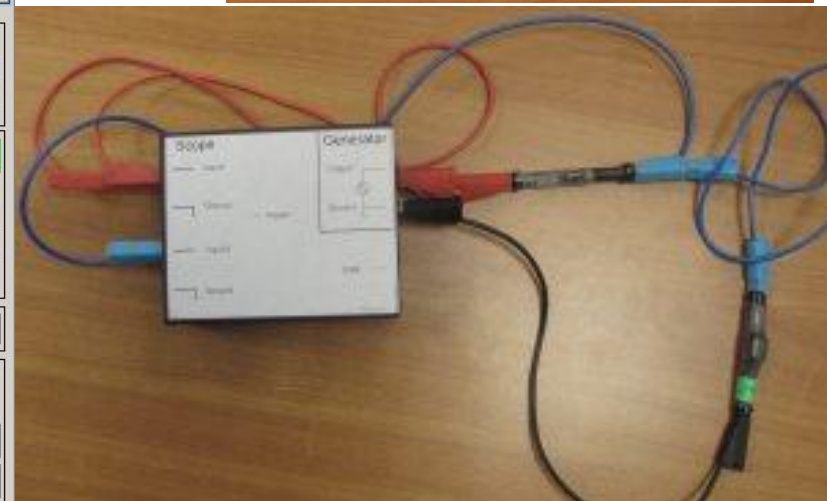
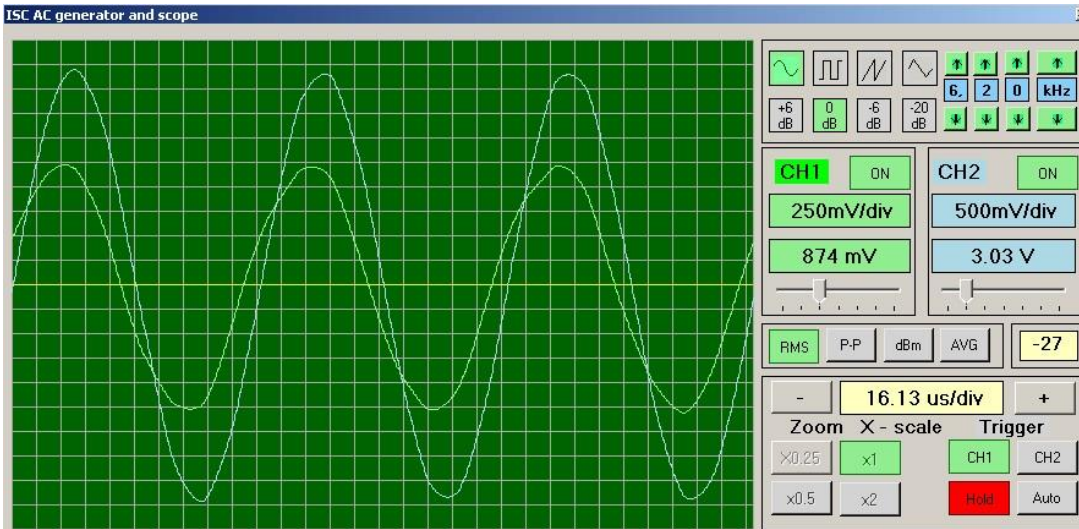
Omavahel ühendatud mõõtevahendid (automaatne töö ja tulemuste esitamine)



Mõõtevahendid (5)

5. Virtuaalsed mõõteseadmed

- personaalarvuti (graafiline liides)+programmid (tarkvara) riistvara moodulid (seadmed)
- Mõõteseadme koosneb osadest: riistvara + tarkvara
 - mõnel on sees mitu protsessorit ja operatsioonisüsteem
 - üldotstarbelised (arvuti kui seade projekteeritakse nii et koodid jookseksid kiiresti)
 - või spetsialiseeritud protsessorid



Mõõtevahendid

Ettevõtte seisukohalt

- on vajalik investeeering
- ostmine, ekspluatatsioon (korrasolek ja õige kasutus)

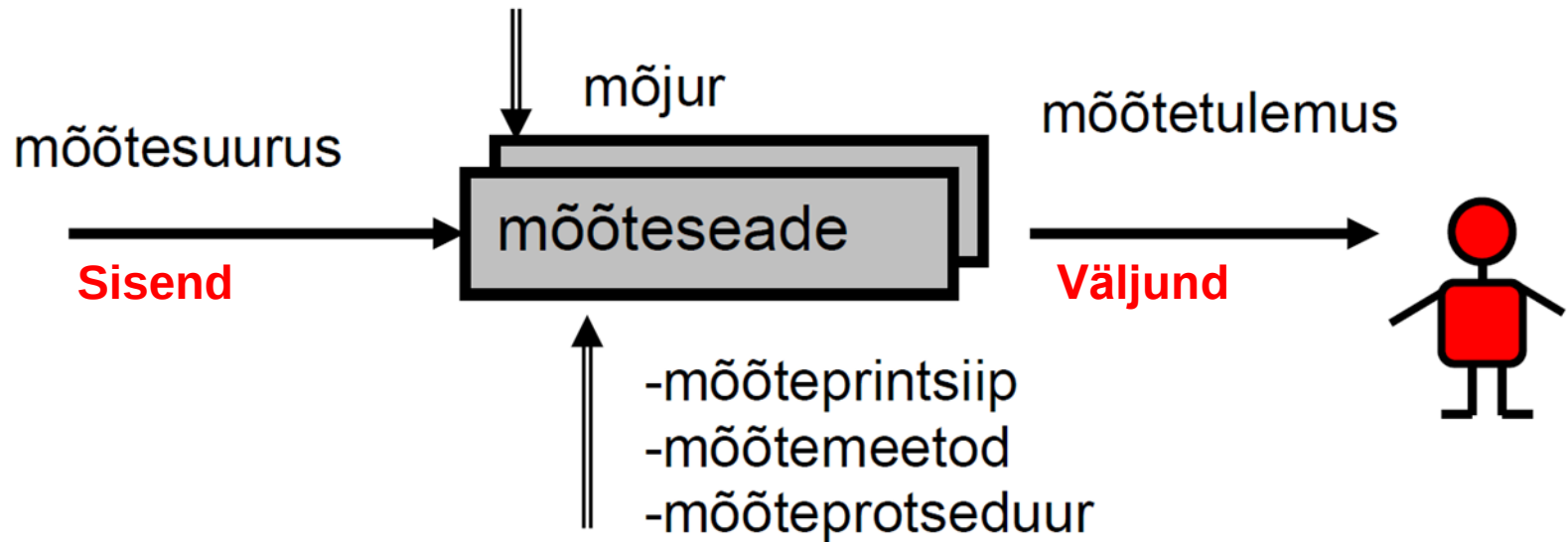
Tootja seisukohalt

- on kaup (tootmine + müük)
- reklaam, info, näitused, kataloogid
- ASS “after sale service”

Kasutaja seisukohalt

- on tööks vajalik seade arusaamine -kuidas töötab, mida mõõdab
- kasutamine -terminoloogia
- millises režiimis töötab?
- mida tähendab “ERROR nr. ...” ?
- õppimine lihtne - põhivõimalused ,lisavõimalused
- kasutamishend (manual)
 - selge ja vigadeta
 - näited, seletused, kordamised
 - kättesaadav ja alles!

Mõõtevahendid (5)



Mõõtevahendil on sisend – ja väljundsignaalid

Sisend - ühendatakse (juhtmed, kaablid, torud), füüsiline signaal sisaldab palju suursi: rõhk, temperatuur, pinge, sagedus ..., on energiatiline : võimsus ...

Väljund - andmed (data) , esitus kokkuleppel (bin, bcd, järjestik.)
ei ole teadmised (organiseeritud info)

Põhiprobleemiks on väljundi (mõõtetulemuse) vahekord sisendiga (mõõdetava suuruse tõelise väärtusega).

Sisend (1)

Mida mõõdab mõõteseade

- Füüsikalise suuruse liik
- V, I, P, p,
- "...meeter" –voltmeeter, termomeeter, ... **mõõteulatus** (range) ,üks või mitu mõõtepiirkonda

mõõtepiirkond (span)

- 0...Xp 30 V, 5 A, 125 mm, ...
- -X ... 0 ... +X 100 A, $\pm 50\text{mV}$, ...



Sisend (2)

Mõõtepiirkonnad

- üks fikseeritud mõõtepiirkond (väärtus)
- mitu mõõtepiirkonda:

0.1, 1, 10, 100 10x

0.2, 2, 20, 200 10x

1, 3, 10, 30, 100, 3x

piirkonna valik: käsitsi / automaatne

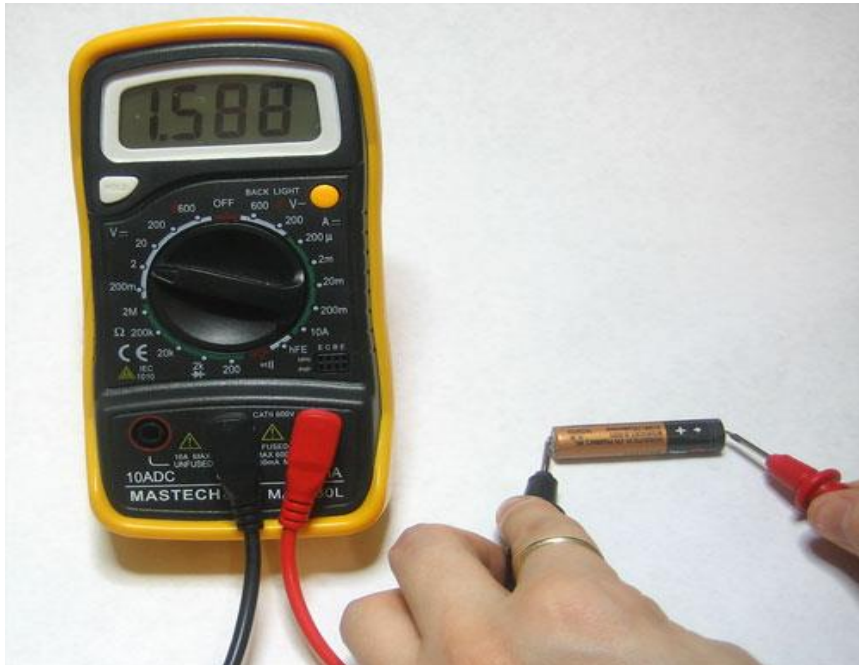
- muudetav mõõtepiirkond (ZERO, SPAN)



Sisend (3)

Mõõtepiirkonnad

- Valida optimaalne piirkond



Viga lugemist



Sisend (4)

Ülekoormus (overload, перегрузка)

- Mõõtur võib rikneda
- Ülekoormustaluvus (2x 1000x, dokumentatsioonis kirjas)
- Vale suuruse mõõtmine (**ära mõõda pinget ampermeetriga !!!!**)



Sisendi mõju mõõdetavale suurusele

- sisendtakistus R_{in} , -mahtuvus C_{in}
- sisendsignaali ühendus: juhtmed, kaablid, toru, ...

Väljund (1)

Mõõtur väljastab mõõtesuuruse arvvaartuse ja ühiku

Mõõtevahendi väljundis on

- Osutmõõteriist
- numbernäiduga mõõteriist

osutmõõteriist (osuti + skaala(d) + jaotused)

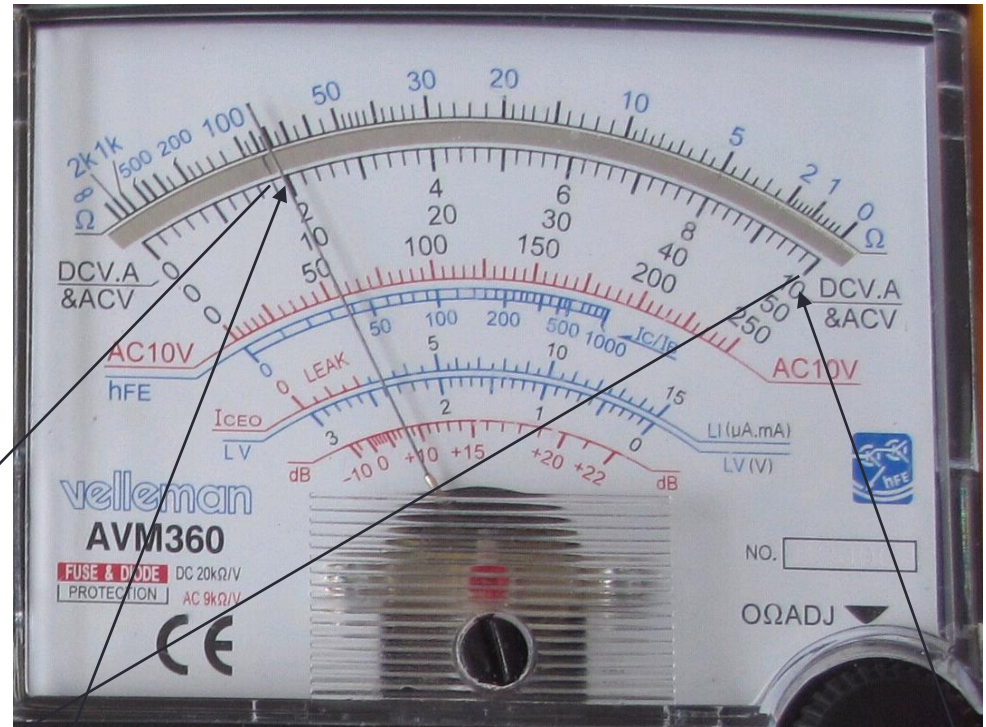
- ühe mõõtepiirkonnaga: –otselugemine
- mitme mõõtepiirkonnaga: -mitu erinevat skaalat
- skaala jaotuste arv: 10, 25 (mitte 11 või 155 !)
- on teada mõõtepiirkond
- Näiteks AVM 360 (laborikatsetes)



$$\text{mõõtetulemus} = \text{mõõtepiirkond} * \frac{\text{lugem}}{\text{skaala jaotiste arv}}$$

Väljund (2)

Piirkonnalüliti asendis 25 mA



$$\text{Tulemus} = 25 \text{ mA} * \frac{2}{10} = 5 \text{ mA}$$

Näit 2

Maksimum 10

$$\text{mõõtetulemus} = \text{mõõtepiirkond} * \frac{\text{lugem}}{\text{skaala jaotiste arv}}$$

Väljund (3)

Numbrinäiduga mõõteriist

ekraanil e. displeil on:

- märk ($\pm$), numbrid, kümnendpunkt, ühik
- numbrikohtade arv ($n=3, 5, 6, \dots$)
- täpsemal seadmel on numbrikohti rohkem



Numbreid esitatakse

- n kohaline kümnendarv n . järku Maks. näit 9999 (ebamugav piirkonnavaheetus)
- $n+1$ kohaline kümnendarv ($n+1/2$ järku) maks. näit (2,20,200) näit.M830
- tulemuse esitamine kümnendarvuna X esindab arvusid $X \pm 1/2$ nooremata järku
- mõõteriista tegelik viga on suurem kui $\pm 1/2$ nooremata järku, seda kirjeldatakse makveana (piirveana) mõõteriista andmetes

Mõõtepiirkonnad

- Automaatsed (tähelepanu tulemuse lugemisel !!!!)
- Käsitsi (näit. M830, laborikohvris)
- ülekoormuse indikatsioon (suurus piirkonnast väljas!) , ekraanil „E“ või „1“

Väljund (4)

Väljundiks on ka signaal või andmed

Tööstuses on mõõtevahendid osa suuremast süsteemist

- mõõteandmed edastatakse ja salvestatakse andmebaasi
- salvestatud andmeid kasutatakse kontrolliks, juhtimiseks, ...

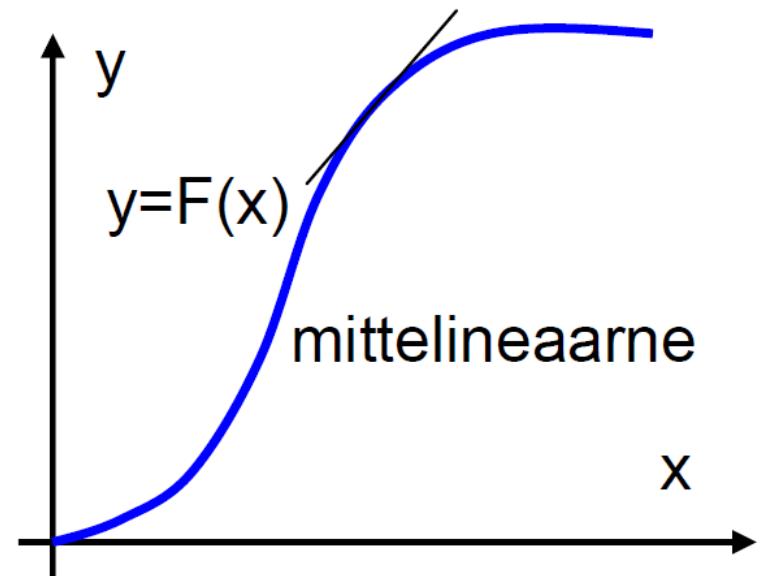
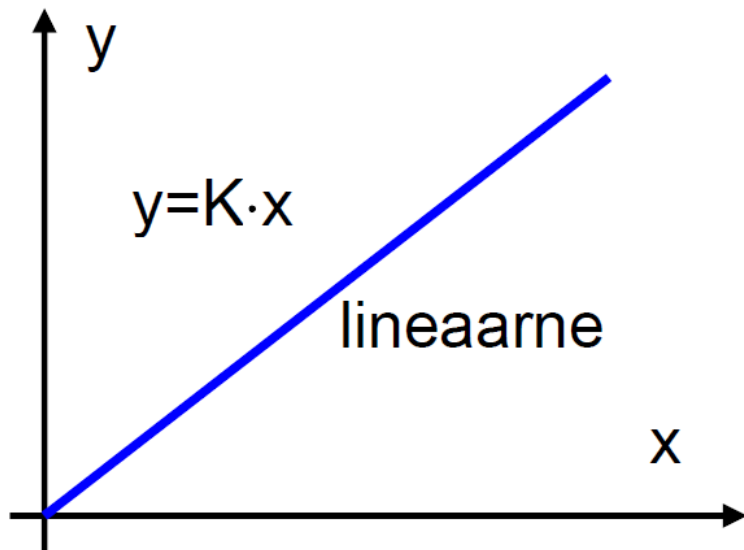
mõõtemuunduritel on väljundsignaal

- elektriline analoogsignaali (0-10 V, 4-20 mA)
- 16 bitine kahendarv (0000 - FFFF)
- andmed: tekstina „-4.183 mV“ (liidesed ja protokollid)



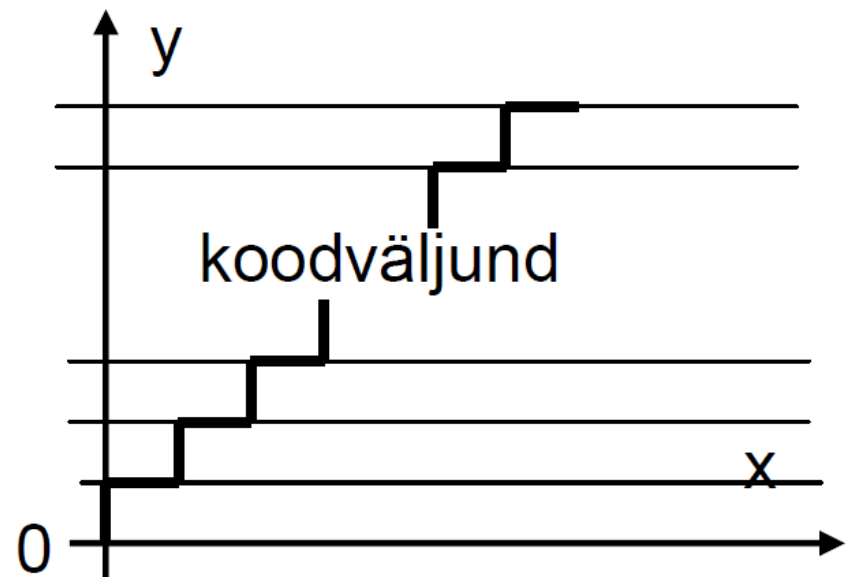
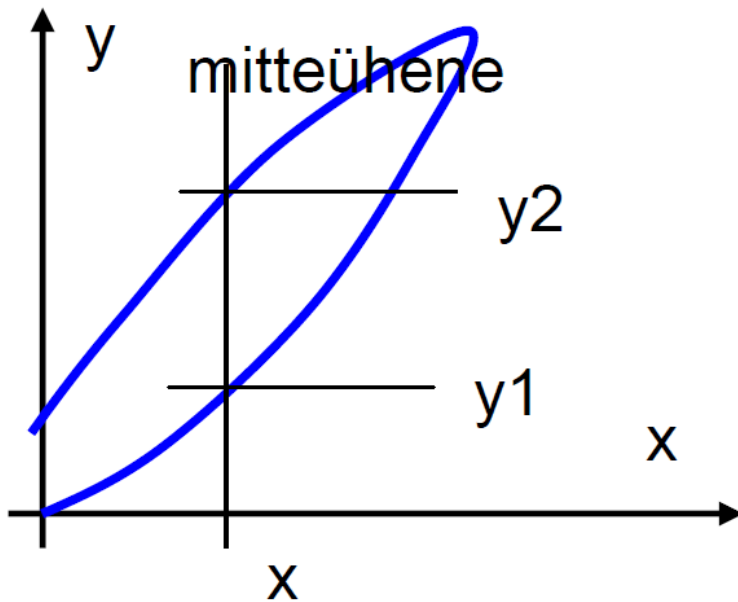
Muunduskarakteristik (1)

Sisendi x ja väljundi y seost kirjeldab **muunduskarakteristik $y=F(x)$** , mis võib olla mitme kujuga:



Muunduskarakteristik (2)

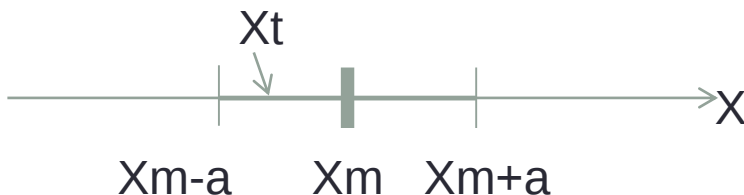
Sisendi x ja väljundi y seost kirjeldab **muunduskarakteristik $y=F(x)$** , mis võib olla mitme kujuga:



Täpsuskarakteristikud (1)

Täpsuskarakteristik vaatab mõõtetulemust (näitu) X_m kui juhuslikku suurust ja kirjeldab mõõtesuuruse (tõelise suuruse) X_t väärtuse usaldusvahemikku (tõenäosusega $P=1$)

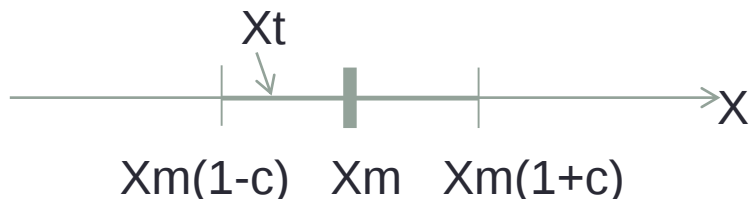
Normeeritakse **absoluutne piirviga** $a \geq \max|\Delta|$, $\Delta = X_m - X_t$
näiteks a : $\pm 1 \text{ mm}$, $\pm 1 \text{ V}$
mõõtetulemus **$X_m \pm \text{piirviga } a$**



normeeritakse suhteline piirviga $c \geq \max|\delta|$, $\delta = \Delta/X_t$

c : 0,5 %, 0,001, 10^{-6}

Näiteks elektri ja veearvestid - mõõtetulemus **$X_m(1 \pm \text{piirviga } c)$**



Täpsuskarakteristikud (2)

Mõõteriista kasutamisel on oluline **teada**, et mõõteriista viga on piirides a .
Mõõteriista kontrollil peame **veenduma**, et mõõteriista viga on piirides a .
Mõõteriistal ei ole mõõtemääramatust, mis on mõõtetulemuse omadus!

Piirviga $a(X, X_p, t, T, \dots)$ sõltub sellest:

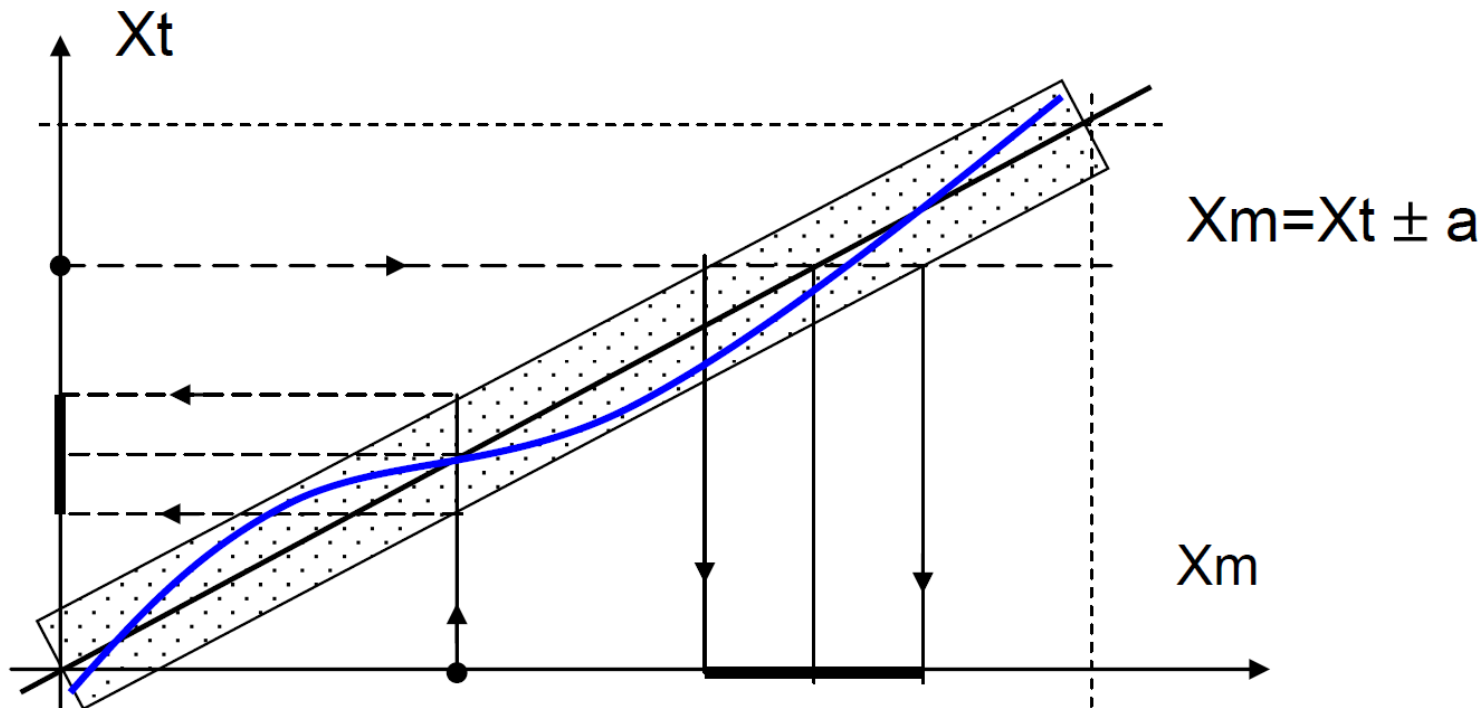
- mis väärtusega suurust X mõõdetakse
- millisel piirkonnal X_p mõõdetakse
- kaua aega t on möödas viimasest kalibreerimisest
- millised on mõõtmistingimused (temperatuur T , ...)

Piirvea a sõltuvust mõõdetavast suurusest X võib kirjeldada kui:

- (1)mittesõltuvat
- (2)proportsionaalset
- (3)lineaarset

Täpsuskarakteristikud (3)

1. Piirviga a ei sõltu mõõdetavast suurusest X (konkreetsel mõõtepiirkonnal X_p)



Näiteks osutmõõteriistad - täpsus on suurim piirkonna lõpus.

Täpsuskarakteristikud (4)

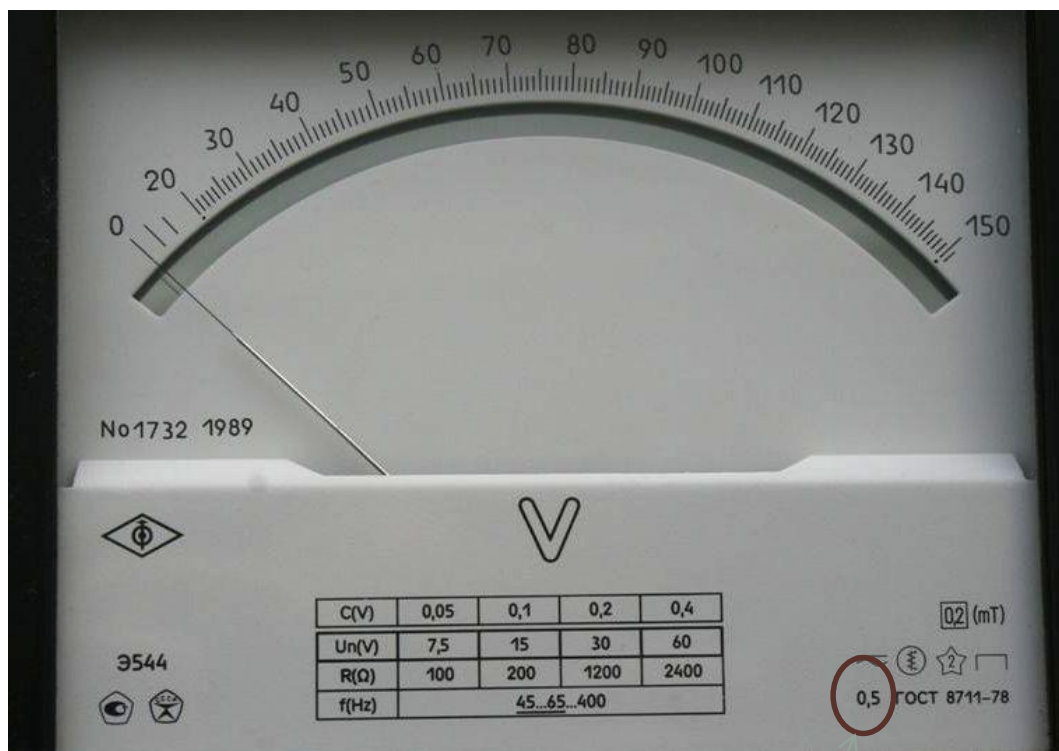
Konstantne piirviga osutmõõteriistal esitatakse

- arvuna skaalal: $\pm 0,1$ A , ± 100 kPa
- täpsusklassina (e. taandatud viga: % mõõtepiirkonna X_p suhtes)

Kui võimalik, mõõda suurust tundlikumal mõõtepiirkonnal, sest väiksemal piirkonnal on viga väiksem.

Alati kontrolli enne mõõtmist

- kas mõõteriist sobib suuruse mõõtmiseks (alalis/vahelduv)
- piirkond on sobiv
- mõõteriista asend on õige (horisontaalne/vertikaalne)
- on vaja korrigeerida mehhaanilist nulli



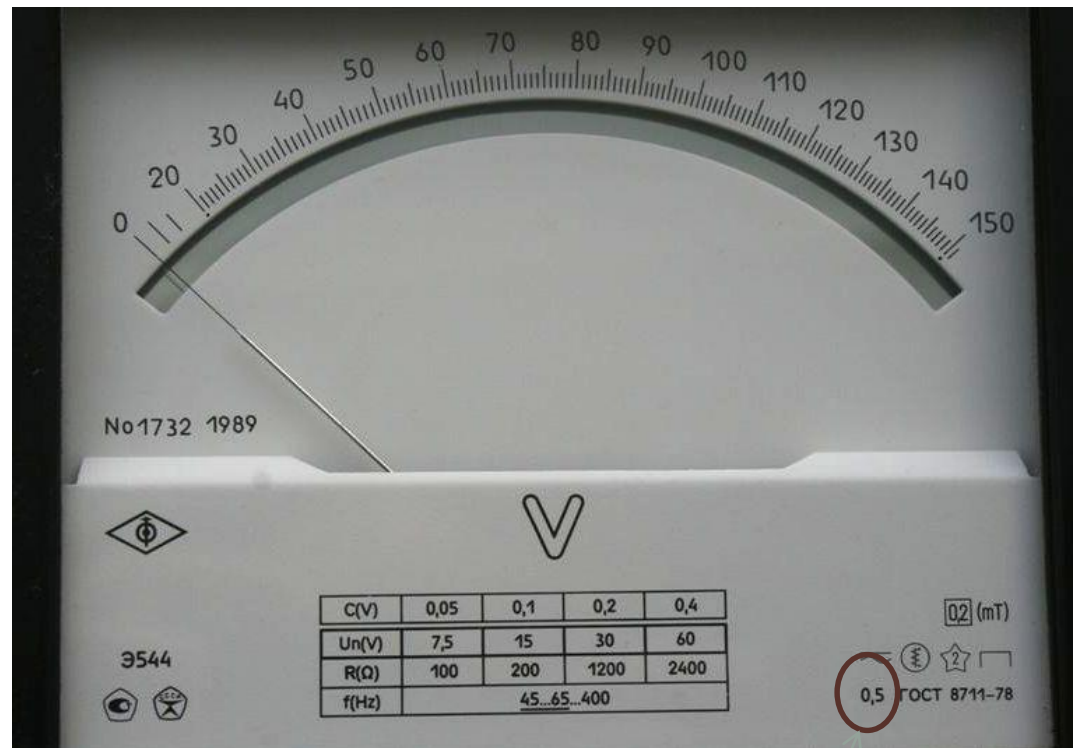
$$\Delta = \pm 0.5 \% \cdot X_p$$

Täpsuskarakteristikud (5)

Oletame, et piirkond on 150 V ja täpsus on 0.5% mõõtepiirkonnast !

Absoluutne viga on konstantne ja see on $\pm 0.75V$

Näit	viga %
10	7,50
20	3,75
30	2,50
40	1,88
50	1,50
60	1,25
70	1,07
80	0,94
90	0,83
100	0,75
110	0,68
120	0,63
130	0,58
140	0,54
150	0,50



$$\Delta = \pm 0.5 \% \cdot X_p$$

Täpsuskarakteristikud (6)

Näide: Testriga AVM360 mõõdetakse voolu.

Mõõtepiirkond on 2,5 mA ja saadakse mõõtetulemus 0,5 mA ?

Milline on mõõtetulemuse maksimaalne viga ? .

Testri suhteline viga 2,5 mA piirkonnal on 3% piirkonnast
(kasutusjuhendist !!)

ehk 3% 2,5mA-st, mis on $3 \cdot 2.5 / 100 = 0.075 \text{ mA}$.

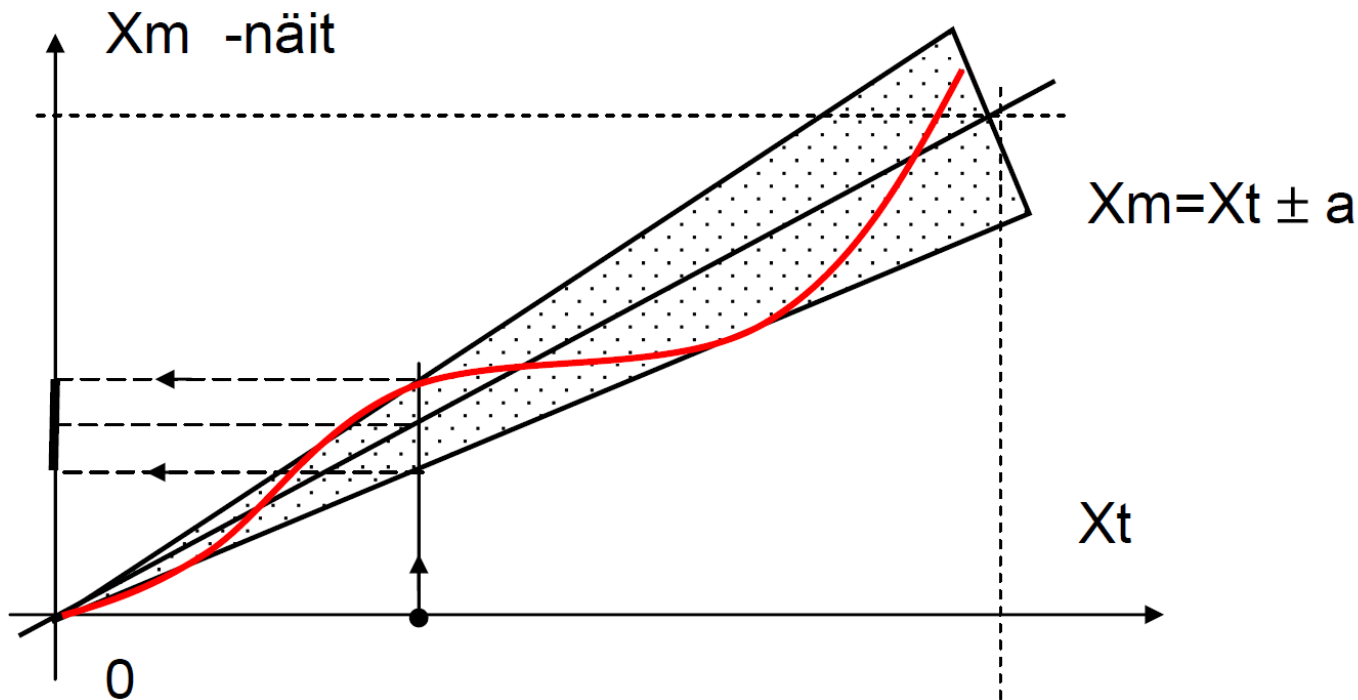
Ehk mõõtetulemus $I = 0.500 \pm 0.075 \text{ mA}$

Kuna osuti on suhteliselt alguses,
on viga 15% mõõtetulemusest, aga tundlikumat piirkonda
ei ole !!!



Täpsuskarakteristikud (7)

2. Piirviga on proportsionaalne mõõdetava suurusega X
(suhteline viga on konstantne)



Keerukas mõõteriista valmistada – ei kasutata.

Täpsuskarakteristikud (8)

3. Kahekomponendiline piirviga

Eesmärgiks on vea võimalikult täpne määramine

$\max |\Delta| = a \cdot X_m + b \cdot X_p$ $a, b, \dots$ -ühikuta arvud (...%)

X_m -mõõtesuurus (X_m moodul alalissignaali korral) X_p -mõõtepiirkond

Erinevad mõõteriistade tootjad võivad esitada vea erinevalt:

Levinum esitus (accuracy)

$\Delta =$ **(% of reading + % of range)**

$\Delta =$ **(% of reading + n digits)** (M830)

Venemaa $\delta = \Delta / X_m = \pm [c + d(X_p / X_m - 1)]$

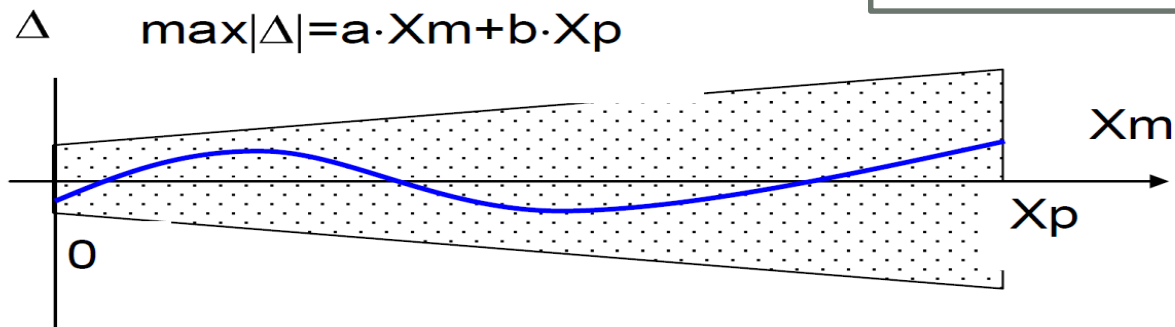
%

c – taandatud viga piirkonna lõpus ($X_m = X_p$)

d – taandatud viga piirkonna alguses ($X_m = 0$)

относительная погрешность %

see on sama mis $\Delta = \pm [(c-d)X_m + d \cdot X_p]$ %



Täpsuskarakteristikud (9)

Möötevea sõltuvus ajast.

Vea muutus ajas võib olla:

- asümptootiline üleminek uuele väärtusele
- lineaarne kasv eksponentsiaalne kasv
- hüppeline muutus (kukkus maha!)
- juhuslik funktsioon
- töörežiimi saavutamine pärast sisselülitamist

Vea muutuse põhjusteks on:

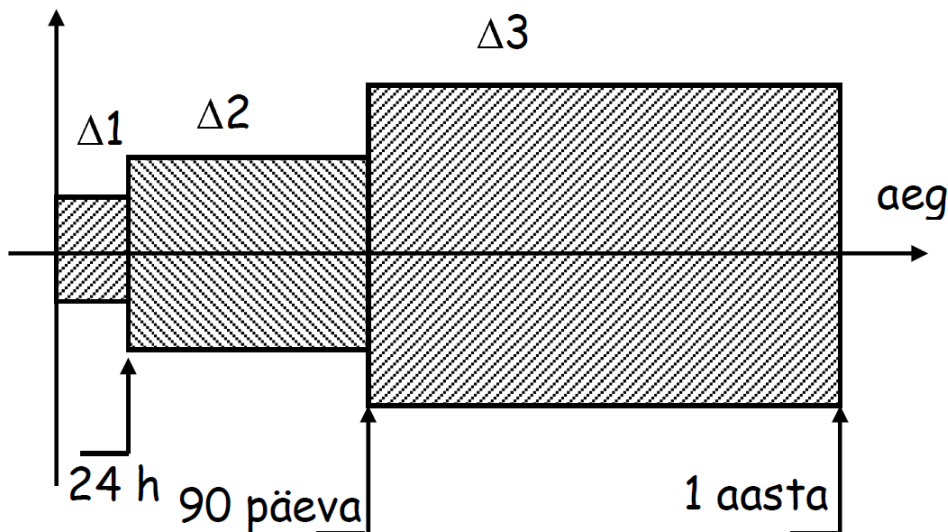
- komponentide defektid
- sulamite rekristallisatsioon
- välised mõjurid (temp., niiskus, vibratsioon, ...)

Täpsuskarakteristikud (10)

Mõõtevea sõltuvus ajast.

Mõõtevea muutumise tõttu on vaja:

- kirjeldada ja arvestada vea muutumist ajas
- kirjeldada piirviga ajaintervallidena
- kirjeldada triivina: $\pm 0,015\%$ aastas
- määrata ajaintervall, mille möödudes on vaja mõõteriista kontrollida (kalibreerida) -täpsetel mõõtevahenditel: 1 aasta



Agilent 34410A and 34411A Multimeters
Setting the Standard for Next Generation
Benchtop and System Testing

Data Sheet



The Best Just Got Better
The Agilent 34410A and
34411A 6½-Digit DMMs represent

Täpsuskarakteristikud (11)

Mõõtetäpsuse tagamine.

- Vea tekke vältimine (kvaliteetsed elemendid, sissetöötamine)
- Väliste mõjude vähendamine (termostateerimine, ekraneerimine, filtreerimine) stabiliseerimine, ...
- Reguleerimine (korrektsioonid)

