

## Mælitækni I:

# Grunnhugtök og einingar

## Kaffi 1

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

26. ágúst 2008

1

## Mælitækni

- Mælikerfi eru notuð til að mæla eðlisstærðir eins og t.d. hitastig, þrýsting, rýmd og spennu
- Þau má einnig nota til að staðsetja atburð eða hluti eins og upptök jarðskjálfta eða starfsmenn í byggingu
- Þau má nota til að flokka hluti eins t.d. fiska á færiband eftir stærð eða þyngd
- Þau má nota til að telja hluti, eins og t.d. fjölda fiska sem synda framhjá

2

## Mælitækni

- Mælitækni er sífelld að þróast og nýjir staðlar, nemar og mælikerfi að koma fram
- Fjallað er um nýjungar í mæliaðferðum, mælitækni og stöðlum í tímaritum á borð við
  - *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*
  - *Review of Scientific Instruments*
  - *Measurement Science and Technology*

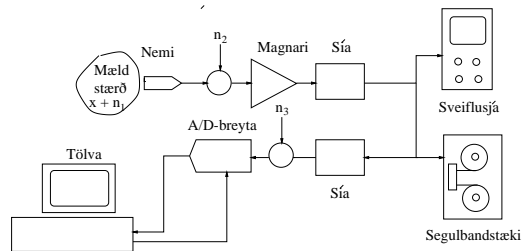
3

## Mælitækni

- Mælikerfum má skipta upp í hliðræn og stafræn mælikerfi
- Í hliðrænu kerfi eru mældu upplýsingarnar meðhöndlaðar og birtar á hliðrænu formi
- Þá er mæld stærðin hliðræn, þ.e. hún er stærð sem breytist samfelld
- Í stafrænu kerfi eru mældu upplýsingarnar meðhöndlaðar og birtar á stafrænu formi
- Flest nútíma rafmagnstæki sameina kosti stafrænna og hliðrænna eiginleika og aðferða til að halda niðri kostnaði og auka notagildi og áreiðanleika

4

## Mælitækni



- Myndin sýnir dæmigert mælikerfi
- Hinni mældu stærð er breytt á heppilegt form, t.d. spennu, straum eða færslu, með merkjabreyti eða nema
- Útgangsmarki nemans er því næst magnað og síað
- Merkið er þá sent á skjá og/eða skráð
- Merkið má skoða á hliðrænni eða stafrænni sveiflusjá

5

## Mælitækni



- Til að mæling megi vera nothæf þarf að uppfylla eftirfarandi skilyrði:
  1. Hanna skilvirka uppsetningu mælingar. Þetta innifelur val á viðeigandi tækjabúnaði og réttri tengingu tækja
  2. Rétt beiting tækjabúnaðar
  3. Skráning gagna á greinargóðan og nákvæman hátt
  4. Ákvörðun á nákvæmni mælingarinnar og mögulegum skekkjum
  5. Ritun skýrslu sem lýsir mælingunni og niðurstöðum hennar

6

## Mælitækni



- Merkið má senda út á segulband til geymslu eða sírita til skráningar
- Merkinu má breyta á stafrænt form með hliðrænt-stafrænt breytu (ADC) og þar með má lesa það með tölvu
- Oft inniheldur mælitækið A/D-breytu og er tengt tölvu um GPIB eða IEEE-488 samskiptabraut

7

## Mælitækni



Suð blandast hinu mælda merki á þrjá vegu:

- Suð numið með mælda merkinu (umhverfissuð)
- Suð vegna merkjabætikerfis (inngangssuð)
- Suð sem er framkallað við breytingu merkis úr hliðrænu merki í stafrænt merki (quantization suð)

Suð takmarkar upplausn og nákvæmni mælitækja

8

## Skekkjur

Stórar skekkjur í mælingum geta stafað af mannlegum mistökum:

- Aflestur af mælitæki áður en það hefur náð æstæði
- Gæta þess ekki að eyða hliðrun í hliðrænu mælitæki
- Brúa vitlaust af skala hliðræns mælitækis
- Mistök við skráningu mældra gilda
- Misbeiting mælitækja. T.d. þegar hliðrænn mælir á 10 V mælisviði (næmni 20000  $\Omega$  á volt) er tengdur við spennulind með hátt Thevenin viðnám (100000  $\Omega$ ). Verulegt spennufall verður þá yfir innra (Thevenin) viðnámið.

9

## Skekkjur

Kerfisbundnar skekkjur stafa af þáttum eins og:

- Mælitækið er ekki kvarðað eða að það hefur hliðrun
  - Þetta getur komið til vegna langtímaáhrifa eins og öldrunar rásaeininga eða hitastigsáhrifa.
- Óvissa í aflestri vegna tilviljanakennds suðs
  - Suðið getur verið umhverfissuð og/eða inngangssuð
- Rek í kerfinu. Það getur stafað af hitastigsbreytingum eins og þegar mælitækið hitnar.

10

## Skekkjur

Við skilgreinum **skekkju** í  $n$ -tu mælingu sem

$$\mathcal{E}_n \equiv X_n - Y_n$$

og **hlutfallslega skekkju** með

$$\% \mathcal{E} \equiv \left| \frac{\mathcal{E}_n}{Y_n} \right| \times 100$$

þar sem  $Y_n$  er raunveruleg, rétt, skilgreind eða reiknuð mælistærð og  $X_n$  er  $n$ -ta mælda stærðin.

11

## Nákvæmni

**Nákvæmni**  $A_n$   $n$ -tu mælingarinnar er skilgreind með

$$A_n \equiv 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$$

og **hlutfallsleg nákvæmni**

$$\% A_n = 100 - \% \mathcal{E} = A_n \times 100$$

$\Rightarrow$  Dæmi 1.1.

12

## Einingar og tákn

- Einn metri var upphaflega skilgreindur sem 1 tíu-milljónasti af lengdarbaug sem fer um París frá norður pólnum til miðbaugs
- 1 kg var upphaflega skilgreint sem 1000 faldur massi eins rúmsentimetra af eimuðu vatni
- 1 sekúnda er  $1/86400$  af meðaldegi
- Í dag er geislun notuð til að skilgreina metranm og sekúnduna.
- 1 kg er nú skilgreint sem massi tiltekinnar platín-iridín stangar sem varðveitt er á Alþjóðamælistofnunni í París

Þetta eru grunneiningarnar aðrar einingar eru leiddar af þeim

13

## Einingar og tákn

- SI einingakerfið var áður nefnt metri-kílógram-sekúnda-amper (MKSA) kerfið þar sem þessar fjórar stærðir voru notaðar til að skilgreina allar aðrar stærðir
- Fyrir 1960, fram að því að SI einingakerfið var tekið upp sem staðall, voru einnig notuð önnur kerfi og má enn gjarnan sjá þau í notkun
- Einingakerfi sem notuð eru
  - SI (MKSA) (metri - kílógramm - sekúnda)
  - CGS (centimetri-gramm-sekúnda)
  - Enska kerfið (foot-pound-second)

14

## Einingar og tákn

- Skilgreiningar á grunneiningum alþjóðlega einingakerfisins eru sem hér segir (Úr reglugerð nr. 128/1994 um mælieiningar):
  - **Lengdareining:** Metrinn er sú vegalengd sem ljósið fer í lofttómi á  $1/299\,792\,458$  sekúndum.
  - **Massaeining:** Kílógramm er mælieiningin fyrir massa. Það er skilgreint sem massi frumgerðar alþjóðlega kílógrammsins.
  - **Tímaeining:** Sekúndan er jafnlangur tími og  $9\,192\,631\,770$  sveiflutímar geislunar er kemur fram þegar sesín 133 frumeind breytir um ástand milli hinna tveggja ofurfínu stiga grunnástandsins.

15

## Einingar og tákn

- frh. (Úr reglugerð nr. 128/1994 um mælieiningar):
  - **Rafstraumseining:** Amper er skilgreint þannig að þegar fasti straumurinn eitt amper rennur um tvo beina, samsíða, óendanlega langa leiðara með hverfandi litið þvermál og leiðararnir eru í eins metra fjarlægð og í tómarúmi, þá verkar krafturinn  $2 \times 10^{-7}$  njúton á hvern metra þvert á leiðarana.
  - **Eining fyrir kelvinhitastig:** Eitt kelvin, einingin fyrir kelvinhitastig, er  $1/273,16$  hluti af kelvinhitastigi vatns við þrípunkt.

16

## Einingar og tákn

- frh. (Úr reglugerð nr. 128/1994 um mælieiningar):
  - **Eining fyrir efnismagn:** Mólið er magn efnis í kerfi sem inniheldur jafnmargar efniseindir og frumeindirnar eru margar í 0,012 kg (12 g) af kolefni-12. Þegar heitið mól er notað verður að tilgreina efniseindirnar sem við er átt og geta það verið atóm, sameindir, jónir, rafeindir, aðrar efniseindir eða tilteknir hópar slíkra efniseinda.
  - **Eining fyrir ljósstyrk:** Kandela er sá ljósstyrkur sem beinist í tiltekna átt frá ljósgjafa sem gefur frá sér einlita geisla með tíðninni  $540 \times 10$  herts og aflinu  $1/683$  vött á hvern steradían.

17

## Einingar og tákn

Sex grunnstærðir SI einingakerfisins eru

Stærð	Tákn	Vídd	Eining
Lengd	$l$	L	metri m
Massi	$m$	M	kílógram kg
Tími	$t$	T	sekúnda s
Rafstraumur	$I$	I	amper A
Hitastig	$T$	$\Theta$	kelvin K
Ljósstyrkur			candela cd
Efnismagn			mol mol

Allar aðrar einingar eru afleiddar einingar, þ.e. rekja má þær til þessara grunneininga

18

## Einingar og tákn

Einingakerfið sem notað er er SI-kerfið

- joule

$$1 \text{ J} = \text{Nm}$$

- watt

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

- volt

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}$$

- ampere

$$1 \text{ A} = 1 \frac{\text{C}}{\text{s}}$$

19

## Einingar og tákn

- ohm

$$1 \Omega = 1 \frac{\text{V}}{\text{A}}$$

- farad

$$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}}$$

- henry

$$1 \text{ H} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$$

20

## Einingar og tákn

- Enska kerfið notar fet (ft), pund (lb) og sekúndu sem grunneiningar fyrir vegalengd, massa og tíma
- Ein tomma (inch), einn tólfti úr feti er nú skilgreind sem nákvæmlega 2.54 cm
- Á sama hátt er eitt pund ákvarðað sem nákvæmlega 0.45359237 kg
- Einnig er gott að vita
  - 1 mile = 1609 m
  - 1 yard = 0.9144 m
  - 1 ft = 0.3084m

21

## Staðlar

- **Staðlar** í rafmælingum eru nákvæm viðnám, þéttar, spólur, spennulindir aða straumlindir sem notuð eru til samanburðar þegar stærðir eru mældar
- T.d. þegar viðnám sem mælt er af nákvæmni með Wheatstone brú er notað staðalviðnám
- Á sama hátt eru þéttar og spólur mæld nákvæmlega.
- Mælistaðlar flokkast í
  - Alþjóðastaðla
  - Frumstaðla
  - Fylgistaðla
  - Vinnustaðla

22

## Staðlar

- Alþjóðastaðlar eru skilgreindir með alþjóðlegu samkomulagi og eru varðveittir á Alþjóðamælistofnuninni í París
- Alþjóðastaðla má nota í samanburð við frumstaðla
- Frumstaðlar eru varðveittir á stofnunum í hinum ýmsu löndum. Þeirra hlutverk er að gefa samanburð við fylgistaðla
- Fylgistaðlar eru notaðir í iðnaði sem viðmiðanir við kvörðun nákvæms tækjabúnaðar og búta
- Vinnustaðlar eru síðan notaðir sem viðmiðanir við daglegar mælingar á öllum tilraunastofum

23

## Einingar og tákn

- Grafið sem sýnir augnabliksgildi rafmerkis sem fall af tíma er nefnt **bylgjuform merkis**
- Gjarnan eru bylgjuform merkis mæld og greind
- Ef merkið er fasti sem fall af tíma, þá er það kallað jafnstraumsmerki (e. direct current (dc))
- Ef formið er endurtekið samfellt (óháð lögum endurtekningarinnar) þá er bylgjuformið sagt **lotubundið**

24

## Einingar og tákn

Riðstraumur er sínuslaga á forminu

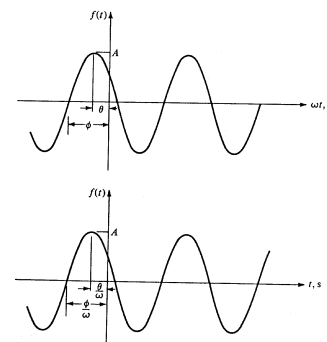
$$i(t) = I_o \sin(\omega t + \phi)$$

þar sem

- $I_o$  er útslag merkisins
- $\omega$  er horntíðni
- $t$  er tími
- $\phi$  er fasahorn

25

## Einingar og tákn



Venjulega notum við litla stafi til að tákna stærðir sem breytast með tíma ( $v, i, q$ ), en stóra stafi til að tákna fastar stærðir ( $V, I, Q$ )

$$v(t) = V_o \cos \omega t$$

26

## Einingar og tákn

- Lengd einnar sveiflu í tíma (í sekúndum) er nefnd **lotu** og er hún táknuð með  $T$
- Samband **tíðni** og lotu er gefið með

$$f = \frac{1}{T} \quad [1/s]$$

- Ein sveifla bylgjuforms er skilgreind þ.a. hún spanni  $2 \times \pi$  radíana eða ef  $2\pi$  er margfaldað með tíðni fæst horntíðni sínusbylgju

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad [\text{rad/s}]$$

27

## Einingar og tákn

- Fyrir tímaháð merki er **augnabliksgildið**

$$i(t)$$

- **Meðalgildið** eða **heildað meðaltal** er flatarmálið undir ferli falls sem í er deilt með lengd sneiðarinnar sem meðaltalið er tekið yfir

$$I_{\text{ave}} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt$$

- **Vikt gildi (rms)** er skilgreint sem

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} [i(t)]^2 dt}$$

þar sem

- $T$  er tímabilið frá  $t_1$  til  $t_2$

28

## Einingar og tákn

- Topp gildi eða stærsta gildi

$$I_{\text{topp}} = \max \{i(t)\}$$

- Formstuðull

$$\Lambda = \frac{I_{\text{rms}}}{I_{\text{ave}}}$$

- Toppstuðull

$$\frac{I_{\text{topp}}}{I_{\text{rms}}}$$

29

## Einingar og tákn - sínusmerki

- Virkt gildi (rms) sínus-straumsins  $i(t)$  er

$$\text{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \text{útslag} = 0.7071 \times I_o$$

eða

$$I_{\text{rms}} = \frac{\sqrt{2}}{2} I_o$$

- Meðalgildi straumsins er

$$I_{\text{ave}} = \frac{I_o}{T} \int_0^T |\sin(\omega\tau)| d\tau = \frac{2}{\pi} I_o \approx 0.637 I_o$$

þar sem  $T$  er lota merkisins  $T = 2\pi/\omega$

- Formstuðull straumsins er  $\Lambda = 1.11$  og toppstuðull straumsins er 1.414

30

## Viðmiðunarstærðin "decibel"

- Við mælingar og útreikninga er oft gerður samanburður á stærðum, eða stærðir bornar saman við ákveðið viðmiðunarstig.
- Oft er logaritmi hentugur í þessum samanburði

$$A = \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad B$$

þar sem [B] er einingin bel.

- Oftast er þó hentugra að nota decibel [dB]

$$A = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \quad \text{dB}$$

og þá er

1 dB  $\approx$  1.26 (26 % aukning) og 3 dB  $\approx$  tvöföldun

31

## Viðmiðunarstærðin "decibel"

- Með decibel (dB) lýsum við hlutfalli tveggja stærða
- Fyrir spennumögnun er

$$\text{dB} = 20 \log \left( \frac{V_1}{V_2} \right)$$

þannig að ef  $V_{\text{in}} = 0.5 \text{ V}$  og  $V_o = 6 \text{ V}$  þá er

$$\text{dB} = 20 \log \left( \frac{V_o}{V_{\text{in}}} \right) = 20 \log(12) = 21.6$$

- Fyrir aflmögnun er

$$\text{dB} = 10 \log \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

32



## Frekara lesefni

Almennt er fjallað um mælitækni sem fræðigreini í kennslubókum eins og bókum Northrop (1997, kafli 1) og Wolf and Smith (2003, kaflar 1-2). Í Northrop (1997, kafli 1.3) er að finna umræðu um staðla. Nýlegt yfirlit yfir grunnfasta er að finna hjá Mohr and Taylor (2005) Um einingar og tákni er fjallað í Carr (1996, kafli 1) og Wolf and Smith (2003, kaflar 1). Skekkjur er fjallað um hjá Wolf and Smith (2003, kafli 2) og hjá Jones and Chin (1991, kafli 1).

## References

Carr, J. J. (1996). *Elements of Electronic Instrumentation and Measurement* (3 ed.). Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.

Jones, L. D. and A. F. Chin (1991). *Electronic Instruments and Measurements* (2 ed.). Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall.

Mohr, P. J. and B. N. Taylor (2005). CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2002. *Reviews of Modern Physics* 77(1), 1–107.

Northrop, R. B. (1997). *Introduction to Instrumentation and Measurements*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.

Wolf, S. and R. F. M. Smith (2003). *Student Reference Manual for Electronic Instrumentation Laboratories* (2 ed.). Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.