

Mælitækni I:

Grunnhugtök og einingar

Kaffi 1

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

27. ágúst 2007

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 sífellt 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*

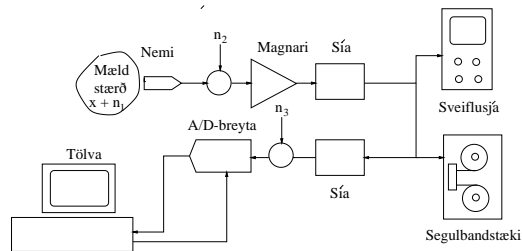
3

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 Ω á volt) er tengdur við spennulind með hátt Thevenin viðnám (100000 Ω). 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 metrann 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 lítið þvermál og leiðararnir eru í eins metra fjarlægð og í tómarúmi, þá verkar krafturinn 2×10^{-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 540×10 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	Θ	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 samfelld (óháð lögum endurtekningarinnar) þá er bylgjuformið sagt **lotubundið**

24

Einingar og tákn

Riðstraumur er sínuslaga á forminu

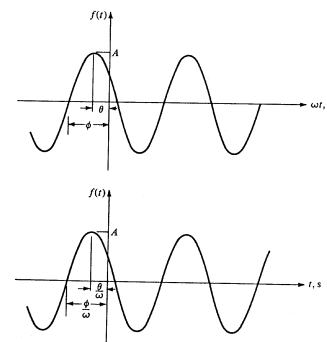
$$i(t) = I_o \sin(\omega t + \phi)$$

þar sem

- I_o er útslag merkisins
- ω er horntíðni
- t er tími
- ϕ 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 2π 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

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

þar sem [B] er einingin bel.

- Oftast er þó hentugra að nota decibel [dB]

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

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 spennuögnun 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 fræðigrein 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.