

# Mælitækni I:

## Mæling á tíðni og tíma

### Kafi 12

Jón Tómas Guðmundsson

tumi@hi.is

27. september 2007

1

## Inngangur

- Fyrstu tímastaðlarnir byggðu á snúningi jarðar
- Einn sólarhringur er sá tími sem það tekur jörðina að snúast um ás sinn
- Í fyrstu klukkunum var sekúnda valinn sem sá tími sem það tók pendúlinn að fara eina sveiflu
- Af því leiddi að sekúnda var tekin sem  $1/86.400$  úr sólarhring ( $24$  klukkustundir  $\times$   $60$  mínútur  $\times$   $60$  sekúndur)
- Með nákvæmari mælingum á snúningi jarðar, lærðu menn að tími hans var breytilegur
- Nútíma tímastaðall er byggður á atómum
- Þá er bylgjulengd tiltekinnar línu í útgeislunar- eða ísogsrófi sesíns atóms mæld og breytt í tíma

2

## Inngangur

- Þessi hermitíðni ræðst aðeins af innri byggingu atómsins (ef það verður ekki fyrir utanaðkomandi truflun) þá er nákvæmni staðalsins tryggð upp  $1$  á móti  $10^{10}$
- Ein sekúnda er skilgreind sem  $9,192,631,770$  lotur sveifna sesín atómsins
- Alment séð eru tvær gerðir af sesín klukkum,
  - tilraunastofu staðall sem er aðeins til á nokkrum stöðum í heiminum til mælinga með mestu nákvæmni
  - kaupanlegar klukkur



3

## Inngangur

- Tilraunastofustaðall er t.d. á eftifarandi stöðum:
  - NIST-7 staðallinn hjá National Institute of Standards and Technology (NIST) in Boulder, CO
  - Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Germany
  - Paris Observatory, France
  - United States Naval Observatory, Washington D. C.



- Einnig má finna smærri sesín klukkur eins og HP5071A, frá Agilent Technologies sem hefur nákvæmni  $1$  af  $10^{12}$ , stöðugleika í tíðni upp á  $8$  af  $10^{-14}$

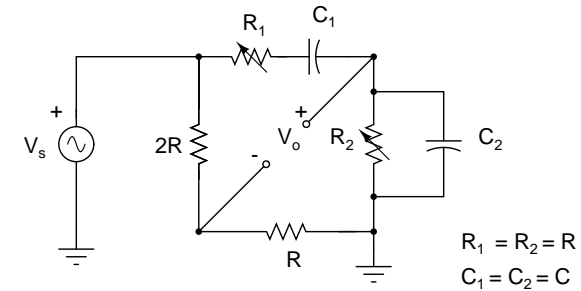
4

## Inngangur

- Til eru tvær skilgreiningar á tíðni:
  - **Meðaltíðni**, mælt sem atburðir á einingartíma
  - **Augnablikstíðni**, mælt sem umhverfa tímans milli atburða
- Flestir nútíma tíðnimælur eru stafrænir og mæla meðaltíðni með því að telja atburði yfir nákvæmlega ákvarðaðan tíma
- Nokkrar ónákvæmari aðferðir má einnig nota til að mæla tíðni. Oft er óþekkta tíðnin borin saman við tíma- eða tíðnistaðla
  - Lissajous myndir
  - zero-beat heterodyne aðferð
  - Tíðnirófsgreining
  - Fast Fourier transform (FFT)
  - Stillanlegar síur

5

## Wein brúar tíðnimælir



- Wein brúarsveiflufvaka má nota til að framkalla nákvæmlega þekkta sínusbylgju
- Brúarlhuta rásarinnar má einnig nota til að mæla tíðni merkis

6

## Wein brúar tíðnimælir

- Merkið sem mæla á er þá lagt á brúna
- Armar brúarinnar innihalda stillanlega búta og fyrir tiltekna stillingu er brúin í jafnvægi
- Nota má heyrnartól, bakskautslampa eða spennumæli til að finna jafnvægisskilyrðið
- Oftast eru bútar valdir þannig að

$$R_1 = R_2 = R$$

og

$$C_1 = C_2 = C$$

og í jafnvægi er tíðnin

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

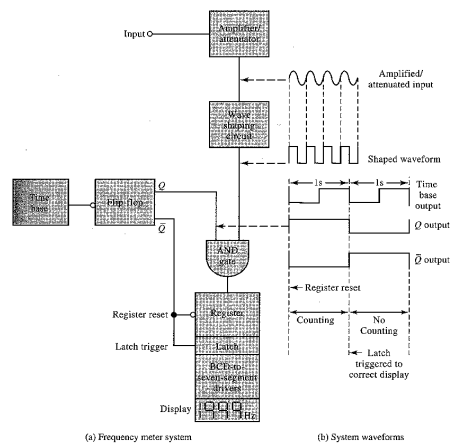
7

## Stafrænn tíðnimælir

- Stafrænn tíðnimælir samastendur af
  - nákvæmum tímagrunni
  - stafrænni teljararás
  - rás sem aðlagar innmerkið
  - rás sem beinir innmerki að teljararásinni
- Innmerkið er fyrst magnað eða deyft eftir atvikum
- Því er þar næst beint að rás sem aðlagar bylgjuformið eða breytir því í púlsta með sömu tíðni og innmerkið
- Innmerkið má vera sínus, kassi, þríhyrningur eða hvað það lotubundna merki sem vera skal
- Aðlagða bylgjuformið er síðan fætt inn á annan inngang AND hliðs. Hinum innganginum er stýrt með Q-útgangi **vippu**

8

## Stafrænn tíðnimælir



9

## Stafrænn tíðnimælir

- Púlsarnir fari því aðeins um hliðið að Q-útgangur vippunnar sé hár
- Vippunni er stýrt með tímarás og skiptir hún um stöðu á hverri fallandi skör á útgangi tímarásarinnar
- Ef t.d. tímarásin hefur útgangstíðni 1 Hz þá er Q-útgangur vippunnar hár í 1 s og lágur í 1 s
- Þá er talið í 1 s (hliðið er opið, hliðtími) og fjöldi talninga gefur tíðnina í Hertz
- Teljararásin er endurstíllt í núll á fallandi skör  $\bar{Q}$ -útgangs vippunnar svo að talningin byrjar alltaf á núlli
- Latch rásirnar eru ræstar í lok talningartímans með rísandi skör  $\bar{Q}$ -útgangs vippunnar og eru á þar til næst er ræst

10

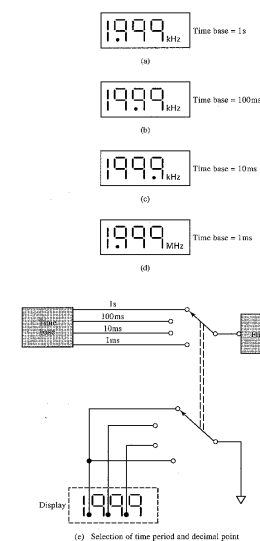
## Stafrænn tíðnimælir

- Nákvæm tímabil  $10 \mu\text{s}$ ,  $100 \mu\text{s}$ ,  $1 \text{ ms}$  o. sv. frv. má fá með kristalsveifluvaka (e. crystal oscillator) og nokkrum tugþrepateljurum (e. decade counter)
- Myndin sýnir stafræna vísun upp á  $3 \frac{1}{2}$ -staf sem getur einnig birt eininguna Hz eða kHz og s. frv.
- Ef notuð eru  $100 \text{ ms}$  tímabil í stað  $1 \text{ s}$  þá segir 1999 til um 1999 talningar á  $100 \text{ ms}$  eða  $19.99 \text{ kHz}$
- Nota skal lægsta mögulegt svið við hverja mælingu til að fá sem mesta nákvæmni

⇒ Dæmi 12.1.

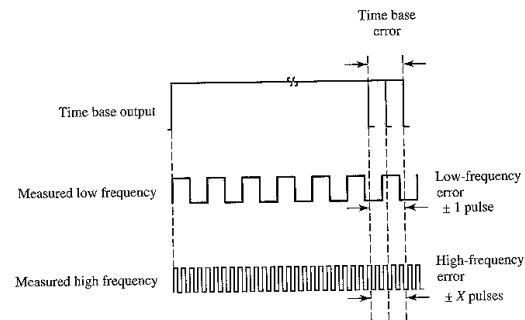
11

## Stafrænn tíðnimælir



12

## Nákvæmni tíðnimæla



- Púlsahlutar sem fara um AND hliðið eru ýmist taldir eður ei. Það er því ávallt óvissa upp á  $\pm 1$  í talningu af völdum hliðtíma
- Þessi talning er skilgreind sem veigaminnsti stafur (e. Least significant digit (LSD))

13

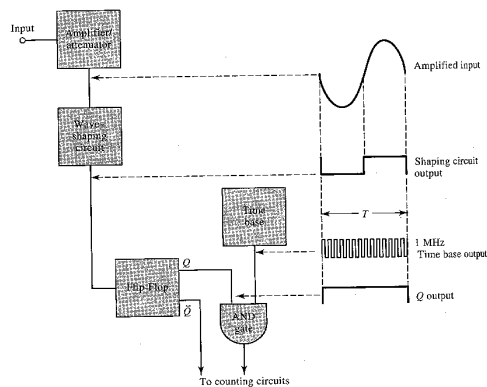
## Nákvæmni tíðnimæla

- Nákvæmni tíðniteljara er venjulega sett fram sem  $\pm \text{LSD} \pm \text{óvissa í tímagrunni}$
- Óvissa í tímagrunni stafar af óvissu í kristalsveiflugjafa af völdum
  - hitastigsbreytinga
  - breytinga í álagðri spennu
  - öldrun kristalls

⇒ Dæmi 12.2.

14

## Umhverfð talning



- Á mynd er 1 MHz merki frá tímagrunninum sent beint inn á AND hliðið í stað merkisins frá aðlögunarrásinni

15

## Umhverfð talning

- Aðlagða merkið er látið stýra vippunni
- Þetta veldur því að AND hliðið hleypir í gegn púlsum frá 1 MHz sveifluvakanum að teljararásinni yfir tímabil sem er lota innmerkisins ( $T$ )

16

## Umhverfð talning

- Þegar 100 Hz merki er mælt þá hleypir AND hliðið teljararásinni á í  $1/100 \text{ Hz} = 10 \text{ ms}$
- Lota 1 MHz sveiflunnar er  $1 \mu\text{s}$  og því er fjöldi púlsa yfir tímamann  $T$

$$n = \frac{10 \text{ ms}}{1 \mu\text{s}}$$

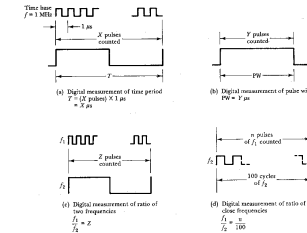
- Þetta kemur fram í skjá sem 10000  $\mu\text{s}$  og má umhverfa til að ákvarða inngangstíðnina
- Nákvæmni í mælingu á 100 Hz er nú  $\pm 1$  af 10000 eða

$$\text{óvissa} = \frac{\pm 1}{10000} \times 100 \% = \pm 0.01 \%$$

sem er talsvert betra en  $\pm 1 \%$  óvissan sem fram kemur við beina tíðnimælingu

17

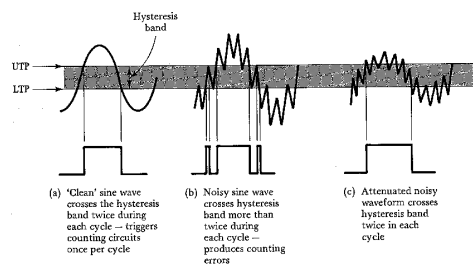
## Stafrænn tíðnimælir



- Flesta stafræna tíðnimæla má nota til mælinga á
  - tíðni
  - lotu
  - púlsbreidd
  - tíðnihlutföllum merkja
- Flestir tíðnimæljar hafa *start* og *stopp* innganga svo að mæla má tíma á milli atburða

18

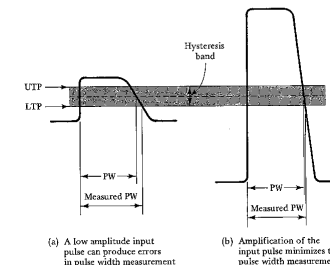
## Stafrænn tíðnimælir



- Inngangsstig tíðniteljara er magnara- eða deyfírás sem fæðir merkið inn á bylgjuaðlögunarrás sem venjulega notar Schmitt gíkk
- Suðbroddar geta valdið rangri talningu
- Ef mikið suð er í merkinu getur verið heppilegt að stilla deyfiliðinn þannig að merkið sem ræsir teljararásina sé sem lægst

19

## Stafrænn tíðnimælir



- Langir ris- og falltímar geta skapað óvissu í mælingu á púlsbreidd
- Með mögnun merkis má minnka óvissuna

⇒ Dæmi 12.3.

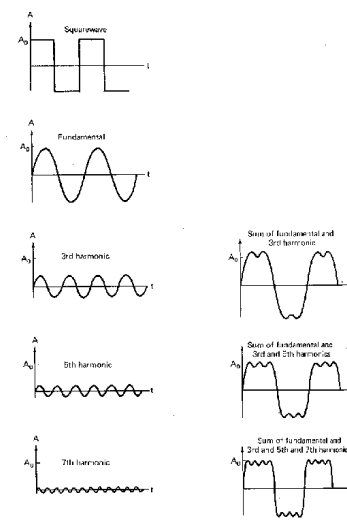
20

## Rófgreinar

- Sérhvert lotubundið bylgjuform má mynda með því að leggja saman tiltekinn hóp af sínusbylgjum eða þáttum.
- Þessir þættir eru nefndir **yfirtónar bylgjunnar** (e. harmonics)
- Útslag og tíðni þessara yfirtóna verður að hafa tiltekin gildi til að mynda megi tiltekið bylgjuform
- Stærðfræðin sem notuð er til að ákvarða útslag og tíðni þessara þátta er nefnd **Fourier greining** (Stærðfræðigreining IV)
- Dæmi um hvernig greina má kassabylgju (eða mynda kassabylgju) í yfirtóna er sýnd á myndinni

21

## Rófgreinar



22

## Rófgreinar

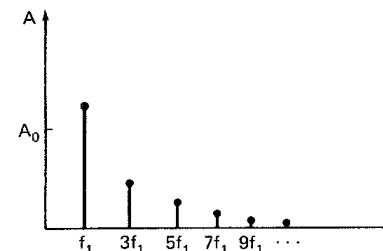
- Jafnan fyrir yfirtóna sem mynda kassabylgju með útslag +1 og horntíðni  $\omega$  er gefin með

$$y = \frac{4}{\pi} \left( \sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$

- Sömu aðferð má beita á hvaða lotubundið bylgjuform sem vera skal
- Þessi óendanlega röð yfirtóna er nefnd **Fourier röð** bylgjuformsins

23

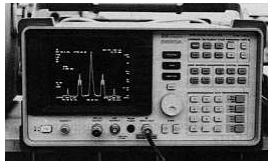
## Rófgreinar



- Tíðniþættirnir sem mynda Fourier röð bylgjuformsins eru nefndir **tíðniróf merkisins** (e. frequency spectrum)
- Þá er birt tíðni á  $x$ -ás og útslag á  $y$ -ás
- Að ofan sést tíðniróf kassabylgju

24

## Rófgreinar



- **Tíðnirófsmælar** (e. spectrum analyzer) birta tíðniróf merkja
- Í tíðnirófsmæli er notuð sía sem hafnar öllu nema tiltekinni vel ákvarðaðri tíðni
- Miðjutíðni þessarar síu er breytt yfir tíðnisviðið sem skoða skal og tíðniþættir birtast á skjánum þá aðeins að þeir svari til síutíðninnar
- Styrkur tíðniþáttar er þá birtur á skjá bakskautslampa
- Þeir vinna gjarnan á tíðnisviðinu 5 Hz – 40 GHz

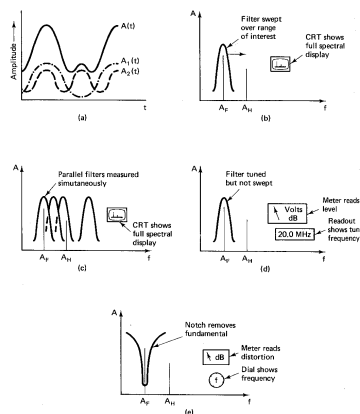
25

## Rófgreinar

- **Fourier greinir** er líka tíðnirófsgreinir
- Þá er merkið sent inn á mikinn fjölda samsíða sía (allt að 2048)
- Þetta eru sérhæfðar stafrænar síur sem greina merkið samsíða í rauntíma
- Þeir vinna frá dc upp í 100 kHz
- Í **bylgjugreini** er notuð stillanleg sía sem stillt er handvirkt

26

## Rófgreinar



- (a) Bylgjuform (b) Tíðnirófsgreinir (c) Fourier greinir (d) Bylgjugreinar  
(e) Bjögunar greinir

27

## Bjögunar greinar

- **Bjögunar greinir** (e. distortion analyzer) mælir bjögun í merki
- Hve ólíkt útmerki, út af tilteknu tóli, er innmerkinu, er mælikvarði á bjögunina sem innleidd var af tólinu
- Þessa bjögun má mæla með bjögunarmæli
- Þegar magnari er ekki línulegur innleiðir hann bjögun
- Bjögun vegna ólínuleika er nefnd bjögun yfirtóna (e. harmonic distortion)

28

## Bjögunar greinar

- Heildar bjögun vegna yfirtóna (e. total harmonic distortion (THD)) er skilgreind sem

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum(\text{yfirtónar})^2}}{\text{grunntónn}}$$

sem erfitt er að mæla og því oftast er notað sem

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum(\text{yfirtónar})^2}}{\sqrt{\sum(\text{yfirtónar})^2 + (\text{grunntónn})^2}}$$

eða

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{E_2^2 + E_3^2 + \dots + E_n^2}}{E_f}$$

þar sem  $E_i$  er útslag tiltekinna yfirtóna

⇒ Dæmi 12.4.

## Frekara lesefni

Um tíma- og tíðnimælingar má lesa hjá Wolf and Smith (2003, kafli 8), Northrop (1997, kafli 8.8) og Bell (1994, kafli 8).

## References

Bell, D. A. (1994). *Electronic Instrumentation and Measurements*. Englewood Cliffs, New Jersey, USA: Prentice Hall.

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.