

# Välkommen till TSDT84 Signaler & System samt Transformer!

[www.cvl.isy.liu.se/education/undergraduate/TSDT84](http://www.cvl.isy.liu.se/education/undergraduate/TSDT84)

## **Examinator: Lasse Alfredsson**

## **Föreläsare HT1: Märten Wadenbäck**

- **Lasse.Alfredsson@liu.se**
- **Marten.Wadenback@liu.se**
- **Tjänsterum 2D:549** resp. **2D:527** mellan ing. B25 & B27, markplanet, D-korridoren
- Universitetslektor resp. bitr. universitetslektor vid avdelningen **Datorseende** på ISY
  - Lasse disputerat inom diskret matematik / signalbehandling / **transformer** / VLSI
  - Märten disputerat inom matematik och datorseende

## **Lektionsassistenter**

- Karl Holmquist (doktorand), Ludvig Dillén, (amanuens)

## **Laborationsassistenter – HT2**

- 5 studenter

# ISY – Institutionen för Systemteknik, [www.isy.liu.se](http://www.isy.liu.se)

## Avdelningar:

- **Datorseende** *Visuella (t.ex. robot-)system (autonoma farkoster), bildbehandling, maskininlärning m.m.*
- **Datorteknik** *Design av processorarkitekturer och digital logik, integrerade kretsar (VLSI) m.m.*
- **Elektroniska kretsar och system** *Integrerade kretsar (VLSI) och deras tillämpningar i sammansatta system m.m.*
- **Fordonssystem** *Kontroll, diagnos och övervakning av olika säkerhets- och prestandafunktioner m.m. i fordon*
- **Informationskodning** *Datasäkerhet, kvantkryptografi, datorgrafik, datakompression, organisk elektronik m.m.*
- **Kommunikationssystem** *Digital och trådlös kommunikation – bl.a. MIMO & 5G-system, energieffektiv signalbehandling m.m.*
- **Reglerteknik** *Kontroll, robotik och autonoma system, sensorfusion, systemidentifiering m.m.*

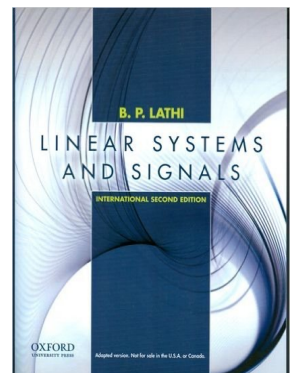
## Kurslitteratur

### Kursbok som kursen relaterar till:

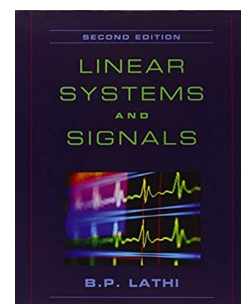
*"Linear Systems and Signals", B. P. Lathi, 2:a upplagan.*

- Innehåller *teoridel & lektionsuppgifter*
  - *Examinatorns lektionsuppgifter & lösningar på svenska som komplement*
- Finns även som **e-bok**, som läses via LiU-bibliotekets webbplats.

*(Dock finns en del OCR-fel, t.ex. några minustecken saknas och "-t" har på något ställe blivit "-1".  
Läs om detta i info om kurslitteraturen på kurswebbsidan!)*



E-boken:



## Det som tillkommer, utöver kursbok, är

- En kursspecifik formelsamling, "**Formelsamling för Signaler & System**", ver. 2.0 från 2015, av Lasse Alfredsson. Köps på Bokakademin.
  - Notera några få rättelser som finns längst bak i formelsamlingen (samt på kurswebbsidan)
- **Examinators lösningar** till lektionsuppgifterna i – se lektionswebbsidan.
  - Jag håller på att ta fram ett nytt lektionshäfte med uppgifter på svenska, bland annat från kursboken.
  - Innehåller handskrivna uppgifter och lösningar. Svar & lösningstips kan tillkomma.
  - Ordbehandlad version kan komma att läggas upp på lektionswebbsidan under hösten.
- HT2: Ett **laborationsmaterial** i digitalt format, **MatLab Live Script**.

## Kursupplägg HT1 – Transformteori

### Föreläsningsform: Flippat klassrum

- Du förväntas att se 2–3 **videoklipp** på 6–18 min/st **innan respektive föreläsning**.
  - Länk från föreläsningsswebbsidan till videoklippen på examinatorns **YouTubekanal**.
- Den efterföljande föreläsningen: Fortsatt teori samt förtydligande exempel.
- **OBS: Upplägget förutsätter att du verkligen ser videoklippen** före varje föreläsning, annars kommer du inte att förstå vad som sker på föreläsningen!
  - Om du tycker att en videogenomgångarna går för sakta, så kan du antingen spela upp i högre hastighet eller läsa motsvarande avsnitt i kursboken.
  - **Pausa ibland för att anteckna och reflektera!**

# Kursupplägg HT1 – Transformteori

## Frågeseminarium – innan kontrollskrivningen

- Mårten svarar på frågor som studenterna på förhand har skickat in
- Skicka in dina frågor senast dagen innan seminariet!

## Föreläsningsvideor – tre typer

YouTubekanal:

[www.youtube.com/c/LasseAlfredsson](http://www.youtube.com/c/LasseAlfredsson)

**Energifritt LTI-system**

$X[z] \rightarrow h[n] \rightarrow Y[z]$

**z-TRANSFORMANALYS AV TIDSDISKRETA LTI-SYSTEM**

$y[n] = y_{zs}[n] = (x * h)[n]$   
 $Y[z] = Y_{zs}[z] = X[z] \cdot H[z]$

**EXEMPEL:**

$x[n] = 1,3 \cdot 0,5^n u[n] - 0,3 \delta[n]$

$h[n] = 2 \cdot (-0,8)^n u[n]$

P.B.U.  $Y_{zs}[z] = \frac{Az+B}{z-0,5} + \frac{Cz+D}{z+0,8}$

P.B.U.  $\frac{Y_{zs}[z]}{z} = \frac{2z+0,3}{(z-0,5)(z+0,8)} = \frac{1}{z-0}$

$Y_{zs}[z] = X[z] \cdot H[z] = \frac{(z+0,5) \cdot 2z}{(z-0,5)(z+0,8)}$

$|z| > 0,8$

1 071 Noteringar - 101 Får Sedan 301 Noteringar - 101 Får Sedan 422 Noteringar - 101 Får Sedan

28

## Kontrollskrivning i transformteori efter HT1

- KTR1 – Kontrollskrivning i transformteori (2 hp), betyg **U/G**
  - Syfte: **Inlärningshjälp för dig!**
  - Den som följer med i HT1 som "normalstudent" bör klara kontrollskrivningen!
  - **Flervalsfrågor** – dina beräkningar lämnas som bilaga.  
Max 30 poäng:

0 – 9 p: <b>U</b>	10 – 14 p: <b>U/K</b>	15 – 30 p: <b>Godkänd</b>
-------------------	-----------------------	---------------------------



**Underkänd**, men du får lämna skriftlig **komplettering** på dina egna lösningar (om du gjort mindre slarv-/tankefel).

- **Typ av frågor:** Se tidigare kontrollskrivningar på kurswebbsidan.

## Förra årets kursutvärdering, Evaluate (sammanfattningsvis)

- 18/128 = **14% svarande** (2020: 46/141 = 33%      2019: 14/124 = 11%)
- Helhetsbetyg: **4,28** (2020: 4,04      2019 : 4,00)
- **Några kommentarer (HT1 + HT2):**
  - Hög arbetsbelastning, speciellt med förberedande videor inför föreläsningarna i HT2
  - Gärna fler exempel på föreläsningarna
  - Svårt att hinna med alla lektionsuppgifterna innan nästa lektion
  - Engagerad examinator
  - Bra videor, särskilt i HT2
  - Lärorikt med frågeseminarier och gästföreläsningen
  - Bra med de svenska lektionsuppgifterna/-svaren
  - Bra med tidigare inspelade föreläsningar, om man hade förhinder till någon föreläsning

## Förra årets kursutvärdering, Evaluate (sammanfattningsvis)

### Förändringar i HT1 jämfört med föregående år:

- **Lektionshäfte** under framtagande.  
Lektionswebbsidan kan komma att uppdateras med nya uppgifter & lösningar.
- Jag och Mårten vill gärna **utvärdera HT1 separat** – formulär kommer efter HT1.

Mer återkoppling från förra kursutvärderingen kommer i början av HT2.  
Samläsning då med TSDT18 Signaler & system för Y/Yi & Med.

## HT2: Signaler & System

- 100% **samläsning med TSDT18 Signaler & System** för Y3, Yi3 & Med3
- **Transformteori är *nödvändig* förkunskap** inför Signaler & System-delen!
- **Två frågeseminarier**
- **TEN3:** Tentamen i Signaler & System (5 hp), betyg U/3/4/5
- **LAB1:** Laborationer i Signaler & System, betyg U/G

## Föreläsningsplanering HT2

1. Inledning, Signaler & System
2. Tidsdomänanalys av tidskontinuerliga system.
3. **Fourierserieanalys** av tidskontinuerliga periodiska signaler **HT1: Fö 1–2**
4. **Fouriertransformanalys** av tidskontinuerliga signaler **HT1: Fö 2–3**
5. *forts: Fouriertransformanalys av tidskontinuerliga signaler & system*
6. Sampling & rekonstruktion
7. Rekonstruktion  
Diskreta fouriertransformen (DFT)

## Föreläsningsplanering HT2

8. **Laplacetransformanalys** av tidskontinuerliga system **HT1: Fö 4**
9. *forts. Laplacetransformanalys av tidskontinuerliga system*
10. *forts. Laplacetransformanalys av tidskontinuerliga system*  
Tidsdomänanalys av tidsdiskreta signaler och system
11. *forts. Tidsdomänanalys av tidsdiskreta signaler och system*
12. **z-transformanalys** av tidsdiskreta system **HT1: Fö 5**
13. **Fourieranalys** av tidsdiskreta signaler och system **HT1: Fö 6**

## Kurser i åk 3 med behov av transformkunskaper

### Termin 5

- TSDT84 Signaler & System samt Transformer

### Termin 6

- TSRT12 Reglerteknik (för D)
- TSKS10 Signaler, information och kommunikation

Många andra kurser, speciellt på ISY men även andra institutioner, använder också transformers som "matematiska verktyg"!

## Transformer för tidskontinuerliga signaler & system

### • Fourierserien

$$D_n = \frac{1}{T_0} \int_{T_0} x(t) e^{-jn\omega_0 t} dt \qquad x(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cdot \cos(n\omega_0 t + \theta_n) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} D_n \cdot e^{jn\omega_0 t}$$

### • Fouriertransformen

$$\mathcal{F}\{x(t)\} = X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \qquad \mathcal{F}^{-1}\{X(\omega)\} = x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(\omega) e^{j\omega t} d\omega$$

### • Laplacetransformen

$$\mathcal{L}_{\text{II}}\{x(t)\} = X_{\text{II}}(s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-st} dt \qquad x(t) = \mathcal{L}^{-1}\{X_{\text{II}}(s)\} = \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} X_{\text{II}}(s) e^{st} ds$$



# Transformer för tidsdiskreta signaler & system

- z-transformen

$$\mathcal{Z}_{\text{II}}\{x[n]\} = X_{\text{II}}[z] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]z^{-n} \quad x[n] = \mathcal{Z}^{-1}\{X_{\text{II}}[z]\} = \frac{1}{2\pi j} \oint_C X_{\text{II}}[z]z^{n-1} dz$$

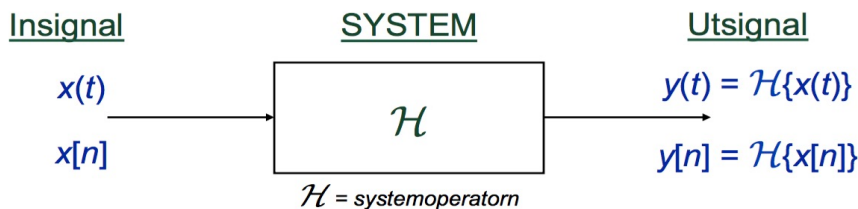
- Fouriertransformen

$$\mathcal{F}\{x[n]\} = X[\Omega] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]e^{-j\Omega n} \quad \mathcal{F}^{-1}\{X[\Omega]\} = x[n] = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} X[\Omega]e^{j\Omega n} d\Omega$$

## Signaler & System – kort introduktion



### System, Insignal & Utsignal



- ♦ Ett **SYSTEM** = en **matematisk modell** av ett fysikaliskt system, alt. en **algoritm**, som för olika **insignaler x** genererar olika **utsignaler y**.
- ♦ En **SIGNAL** = en informationsbärande matematisk **funktion** som **representerar** en (ofta mätbar) fysikalisk storhet.
- ♦ Signalerna är här oftast deterministiska, endimensionella, periodiska eller icke-periodiska, tidskontinuerliga eller tidsdiskreta.

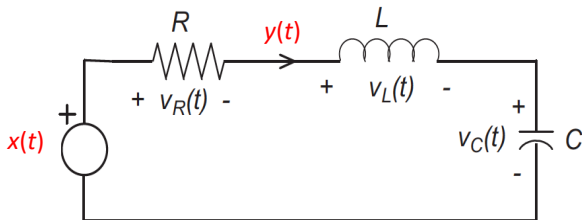
## Differentialekvationsbeskrivning

### Signaler & System

#### Ex: Elektriskt system

Spänningskällan = insignal.

Strömmen = utsignal:



$$v_R(t) = R \cdot y(t) \quad (1) \quad v_L(t) = L \cdot \frac{dy(t)}{dt} \quad (2)$$

$$y(t) = C \cdot \frac{dv_C(t)}{dt} \quad (3) \quad v_C(t) = x(t) - v_R(t) - v_L(t) \quad (4)$$

(1) & (2) i (4). Därefter (4) i (3)  $\Rightarrow$

$$\underline{y(t) = C \cdot \frac{dv_C(t)}{dt} = C \cdot \frac{dx(t)}{dt} - RC \cdot \frac{dy(t)}{dt} - LC \cdot \frac{dy^2(t)}{dt^2}}$$

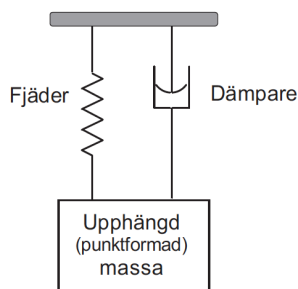
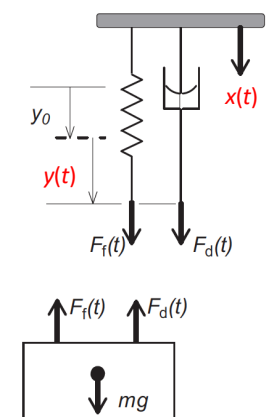
$$\text{dvs. } \boxed{LC \frac{dy^2(t)}{dt^2} + RC \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = C \frac{dx(t)}{dt}}$$

## Differentialekvationsbeskrivning

### Signaler & System

#### Ex: Mekaniskt system

Erilägg och sätt ut krafter!



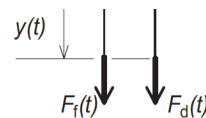
För massan gäller:

Newton's 2:a lag ( $\sum$  krafter i y-led):

$$m \cdot g - F_f(t) - F_d(t) = m \cdot a = m \frac{dy^2(t)}{dt^2}$$

Vid vila är  $x=0, y=0, y'=0$   
och  $y''=0 \Rightarrow k \cdot y_0 = m \cdot g$

$$\dots \Rightarrow \boxed{\frac{dy^2(t)}{dt^2} + \frac{c}{m} \frac{dy(t)}{dt} + \frac{k}{m} \cdot y(t) = \frac{c}{m} \frac{dx(t)}{dt} + \frac{k}{m} x(t)}$$



$y_0$  = utdragslängd vid vila, dvs. jämviktsläge

$y(t)$  = avvikelser från jämviktsläget

$x(t)$  = lägesförändring av infästningspunkten

$k$  = fjäderkonstant

$c$  = dämpningskonstant

$v$  = hastighet i y-led

$a$  = acceleration i y-led

Totalt utdragen längd:  $y_{tot}(t) = y_0 + y(t) - x(t)$

Fjäderkraften  $F_f(t) = k \cdot y_{tot}(t)$

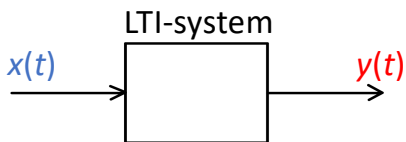
Dämpkraften  $F_d(t) = c \cdot v(t) = c \cdot \frac{dy_{tot}(t)}{dt}$

De flesta LTI-system av praktiskt intresse kan i tidsdomänen beskrivas m.h.a. en differentialekvation!

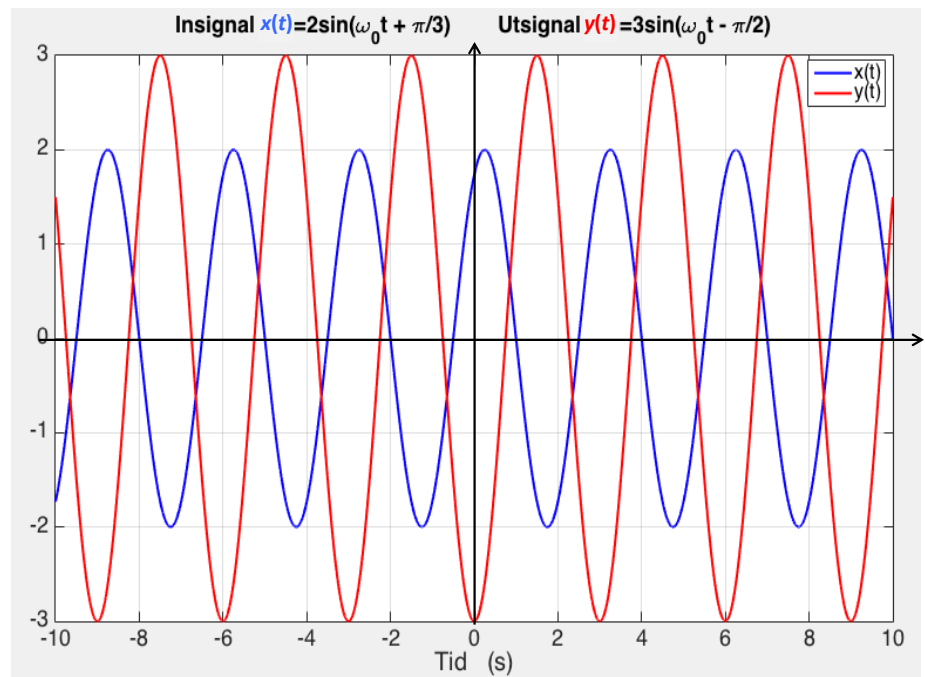
De löses smidigt med hjälp av Laplacetransformen!

## Stabila linjära tidsinvarianta system, LTI-system

Detta stötte åtminstone  
D:are på i kursen  
**TSTE24 Elektronik:**



LTI-system **amplitudskalar**  
och **fasförskjuter** stationära  
frekvenssignaler (cos/sin).

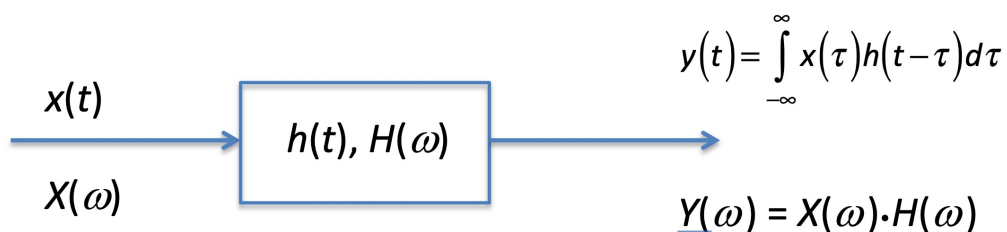


## Stabila linjära tidsinvarianta system, LTI-system

Amplitudskalningen och fasförskjutningen ges av systemets **frekvensfunktion**

$H(\omega) = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)}$ , där  $H(\omega)$ ,  $X(\omega)$  och  $Y(\omega)$  är **fouriertransformer** och beskriver

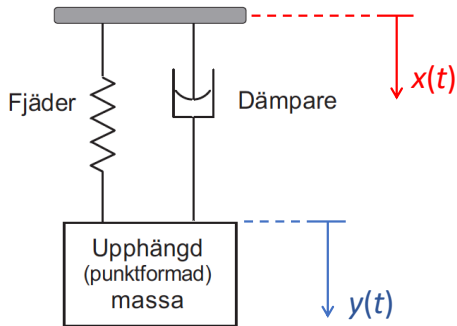
systemets, insignalens respektive utsignalens **frekvensegenskaper**.



Det är ofta lättare att utföra beräkningar i **transformdomänen** än i **tidsdomänen**!

## Stabila linjära tidsinvarianta system, LTI-system

Exempel – massa som är upphängd i en gummisnodd = fjäder + dämpare



$$|H(f)| = \frac{B}{A}$$

