LINKÖPINGS UNIVERSITET Institutionen för Systemteknik

Tentamen i
TSKS06 Linjära system för Kommunikation

Tid: 2019-06-03 kl. 8.00-12.00

Provkod: TEN1

Lokal: TER4, TERE

Lärare: Lasse Alfredsson, tel. 013-28 2645 (nås på detta nummer under tentan)
Tentasalen besöks två gånger:
- Ca 8:30–8:45
- Ca 1–1.5 tim innan skrivtidens slut

Hjälpmedel:
- Miniräknare
- ”Formler & Tabeller” av Sune Söderkvist
- Det bifogade formelbladet om modulation
- Andra motsvarande förlagsutgivna matematiska tabeller och formelsamlingar

Bedömning: Varje helt rätt och *väl motiverad* uppgift ger 5 poäng. För godkänd tentamen krävs 11 poäng. För betyg 4 krävs 16 poäng och för betyg 5 krävs 21 poäng.

OBS!
- Bristande motivering medför poängavdrag.
- Numeriska lösningar, dvs. om signifikanta delar av uppgiften löses m.h.a. räknare, accepteras ej.

Rättning: Tentorna rättas normalt inom *10 arbetsdagar* efter tentatillfället.
Efter registrering av resultaten i Ladok skickas, inom *ytterligare* några dagar, ett automatiskt Ladok-utskick med tentamensresultat via e-post till alla som är **registrerade** på kursen.

Lösningsförslag finns normalt tillgängligt på kursens tenta-webbsida *inom 5 arbetsdagar*: **www.cvl.isy.liu.se/education/undergraduate/TSKS06/tentor**

Uthämtning: Rättade tentor kan hämtas ut på **ISY:s expedition** från och med **2019-06-24**.
Expeditionen finns bredvid Café Java i B-huset – öppettider: *måndag, onsdag & torsdag kl. 12:30−13:15.* (*OBS: Expeditionen är stängd under juli månad.*)
Eventuella synpunkter på rättningen skall formuleras *skriftligen* och lämnas via ISY:s expedition *senast 2019-08-30*.
Synpunkter om *uppenbara felbedömningar* kan dock lämnas senare.

Lycka till!

ALLMÄNNA TENTALÖSNINGSTIPS:

Motivera varje steg i dina lösningar noga! Vi fokuserar relativt mycket på detta vid tentarättningen, så se till att du *tydligt* visar *vad* du gör – och *varför*.
Hur du kommer fram till svaret är vid examinationen ofta viktigare än själva svaret…

Tänk på följande, som står på tentans försättsblad: "*Bristande motivering medför poängavdrag*"!

---

1. Nedan finns fem påståenden om tidskontinuerliga system. Ange för vart och ett av påståendena om det är **SANT** eller **FALSKT**! *Lämna ingen motivering*.
Korrekt svar på en delfråga ger +1 poäng, felaktigt svar ger –1 poäng, medan utelämnat svar ger 0 poäng. Totalt ger dock uppgiften aldrig mindre än 0 poäng.
Om du tvärtemot anvisningen ovan lämnar motivering till ett korrekt svar, men där motiveringen är felaktig, så ges också –1 poäng för den deluppgiften.

   a) Modulerade signaler i QPSK, 4-QAM och 4-FSK, där man använder samma signalpulslängd *T*, har samma bandbredd.

   b) Om $x(t)=2e^{-t}u(t)$ är insignal till ett stabilt LTI-system med systemfunktion $H(s)=\dfrac{2s+3}{s+3}$, så blir systemets utsignal $y(t)=\left(e^{-t}-3e^{-3t}\right)u(t)$.

   c) För lågpassfilter av typen Chebyshev I ligger systemfunktionens poler på vinkelavståndet $\dfrac{\pi}{n}$, där *n* är systemets ordning.

   d) Det kausala LTI-systemet med insignal $x(t)$ och utsignal $y(t)$, som beskrivs av differentialekvationen $\dfrac{d^3y(t)}{dt^3}-4\dfrac{dy(t)}{dt}=\dfrac{d^2x(t)}{dt^2}-3\dfrac{dx(t)}{dt}+2x(t)$, är marginellt stabilt.

   e) Ett LTI-system med insignal $x(t)=u(t+1)-u(t-1)$ genererar utsignalen $y(t)=g(t+1)-g(t-1)$, där $g(t)$ är systemets stegsvar.

2. Ett tidskontinuerligt LTI-system beskrivs av impulssvaret $h(t)=e^{-t}\left(\cos(2t)-e^{-t}\right)u(t)$.

   a) Rita fullständigt pol-nollställediagram, inklusive konvergensområde, för LTI-systemets systemfunktion $H(s)$. (3 p)

   b) För insignalen $x_1(t)=\sin(2t)$, så genererar systemet utsignalen $y_1(t)$ och för insignalen $x_2(t)=\cos(4t)$, så genererar systemet utsignalen $y_2(t)$.
   Motivera i ord, utgående från ditt pol-nollställediagram i uppgift a), vilken av utsignalerna $y_1(t)$ och $y_2(t)$ som har störst amplitud. (2 p)

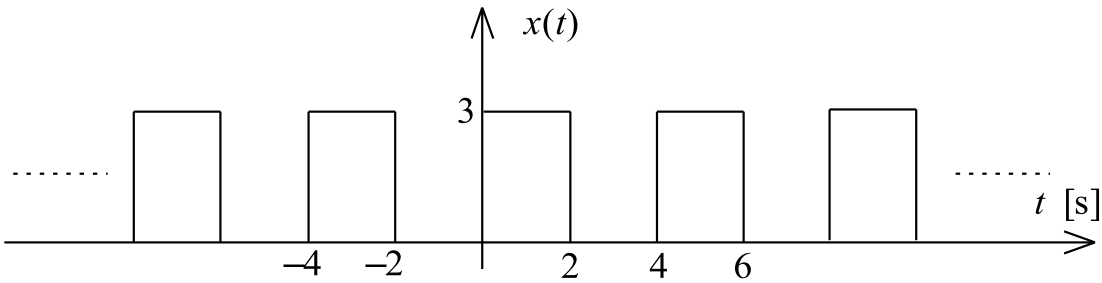
3. Ett visst LTI-system har frekvensfunktionen $H(\omega) = 2e^{-j\omega}\,\text{sinc}\left(\dfrac{\omega}{\pi}\right)$.

   a) Beräkna utsignalen $y(t)$ från då systemet matas med insignalen $x(t) = e^{-t}u(t)$. (4 p)

   Tips 1: Här är det enklast att utföra utsignalsberäkningen i tidsdomänen…
   Tips 2: Se fouriertransformegenskapen för tidsskiftning i Formler & Tabeller, Tab. 16.

   b) Vilken kausalitetsegenskap har systemet? (1 p)

4. Ett butterworthfilter av LP-typ, av ordning 3 och med 3 dB-gränsvinkelfrekvens $\omega_p = 4$ rad/s, matas med den periodiska insignalen $x(t)$ enligt nedan. Som utsignal från filtret erhålls då en periodisk utsignal $y(t)$, med komplexa fourierseriekoefficienter D_k.



   a) Beräkna insignalens komplexa fourierseriekoefficienter C_k. (ca. 50% av uppgiften)

   b) Beräkna utsignalens dubbelsidiga amplitudspektrum $|D_k|$. (ca. 50% av uppgiften)

   Anm: Korrekt lösning av b) förutsätter att du först löser a), men vid rättningen av b) tar vi hänsyn till om du inte löst eller fått fel svar i a)

5. Ett biotekniskt system modelleras som ett kausalt LTI-system med systemfunktion

$$H(s) = \frac{s}{(s+1)^2 + 4}.$$

   a) Beräkna systemets utsignal $y_1(t)$ då insignalen är $x_1(t) = 5 + 3\sin(2t)$. (2 p)

   b) Låt nu insignalen vara $x_2(t) = e^{-2|t|}$.

      i) Bestäm konvergensområdet för utsignalens laplacetransform $Y_2(s)$. (≈ 1.5 p)

      ii) Beräkna utsignalens amplitudspektrum $|Y_2(\omega)|$. (≈ 1.5 p)

BILAGA – ANALOGA & DIGITALA MODULATIONSFORMER

- **Analog modulation**
  - AM-DSB-SC: $x(t) = A \cdot m(t) \cdot \cos(\omega_c t)$, AM-DSB: $x(t) = A \cdot (C + m(t)) \cdot \cos(\omega_c t)$
  - Vinkelmodulering: $x(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + \phi\{m(t)\})$
    - PM: $\phi\{m(t)\} = a \cdot m(t)$
    - FM: $\frac{d\phi\{m(t)\}}{dt} = a \cdot m(t) \Leftrightarrow \phi\{m(t)\} = a \cdot \int_{t_0}^{t} m(\tau)\, d\tau$

- **Digital modulation**
  - Grundläggande samband:

$$x(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(\omega_c t + \varphi); & 0 \le t < T \\ 0; & \text{f.ö.} \end{cases} = \begin{cases} a \cdot \phi_0(t) + b \cdot \phi_1(t); & 0 \le t < T \\ 0; & \text{f.ö.} \end{cases},$$

där $\phi_0(t)$ och $\phi_1(t)$ är ortogonala basfunktioner, dvs. $\int_T \phi_0(t)\phi_1^*(t)\, dt = 0$:

$$\begin{cases} a = A\sqrt{\frac{T}{2}} \cdot \cos(\varphi) \\ b = A\sqrt{\frac{T}{2}} \cdot \sin(\varphi) \end{cases} \quad \& \quad \begin{cases} \phi_0(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \cos(\omega_c t) \\ \phi_1(t) = -\sqrt{\frac{2}{T}} \cdot \sin(\omega_c t) \end{cases}$$

Vektorrepresentation av $x(t)$:

$$\overline{x} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

Utgående från en vektorrepresentation enligt ovanstående, kan man för olika modulations-former nedan rita motsvarande *signaluppsättningsdiagram* (Eng: "signal space diagram").

  - **Binära modulationsformer**, där de binära symbolerna 0 och 1 representeras av $s_0(t)$ resp. $s_1(t)$ i intervallet $0 \le t < T$:
    - 2-ASK: $s_0(t) = A \cdot \cos(\omega_c t)$ $s_1(t) = B \cdot \cos(\omega_c t)$ (specialfall: OOK)
    - BPSK: $s_0(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + \pi)$ $s_1(t) = A \cdot \cos(\omega_c t)$
    - BFSK: $s_0(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t)$ $s_1(t) = A \cdot \cos(\omega_1 t)$
  - **Icke-binär modulation**, där varje *k*-bitars symbol (totalt $M = 2^k$ symboler) representeras av $s_i(t)$ i intervallet $0 \le t < T$:
    - ASK: $s_i(t) = A_i \cdot \cos(\omega_c t)$, $i = 1, 2, 3 \ldots, M$
    - *M*-PSK: $s_i(t) = A \cdot \cos\left(\omega_c t + (2i-1)\frac{\pi}{M}\right)$, $i = 1, 2, 3, \ldots, M$
    - QPSK: QPSK är ett specialfall av *M*-PSK, för $M = 4$, dvs. då $k = 2$.
    - QAM: $s_i(t) = A_i \cdot \cos(\omega_c t + \varphi_i)$, $i = 1, 2, 3, \ldots, M$
    - FSK: $s_i(t) = A \cdot \cos\left(2\pi\left(f_c + \frac{i}{T}\right)t\right)$, $i = 0, 1, 2, \ldots, M-1$