LINKÖPINGS UNIVERSITET Institutionen för Systemteknik

Tentamen i
TSKS06 Linjära system för Kommunikation

Tid: 2020-10-22 kl. 08.00-12.00

Provkod: TEN1

Lokaler: TER3

Lärare: Lasse Alfredsson
Tentasalen besöks *en* gång, efter ungefär halva skrivtiden.
Examinatorn nås, för övrigt, på telefon under hela tentan: 013-282645

Hjälpmedel:
- Räknedosa och ”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!
- Redovisa tydligt alla steg i dina lösningar, det är främst **lösningsgången** vi poängbedömer! **Bristande motivering medför poängavdrag.**
- **Numeriska lösningar**, dvs. om signifikanta delar av uppgiften löses m.h.a. räknare, **accepteras ej.**

Rättning: Tentorna rättas normalt och resultatrapporteras i Ladok inom *15 arbetsdagar* efter tentatillfället. När resultaten kommit in i Ladok skickas ett automatiskt Ladok-utskick med tentamensresultat via e-post till alla som är **kursregistrerade**.

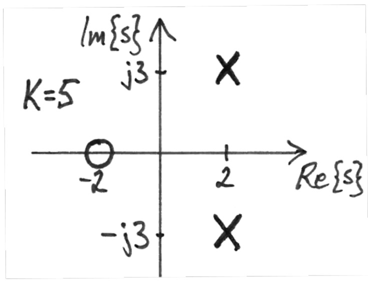
Lösningsförslag finns normalt tillgängligt på kursens tenta-webbsida *inom 5 arbetsdagar*: **www.cvl.isy.liu.se/education/undergraduate/TSKS06/tentor**.

Uthämtning: Rättade tentor kan hämtas ut på **ISY:s expedition** från och med **2020-11-16**. Expeditionen finns bredvid Café Java i B-huset – öppettider: *måndag, onsdag & torsdag kl. 12:30−13:15.*
Eventuella synpunkter på rättningen skall formuleras *skriftligen* och lämnas via ISY:s expedition *inom en månad* från datumet ovan, då tentorna kan hämtas ut från expeditionen.
Synpunkter om *uppenbara felbedömningar* kan dock lämnas senare.

Lycka till!

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) Ett icke-kausalt LTI-system, med systemfunktion $H(s)$ enligt pol-nollställediagrammet nedan, är instabilt.

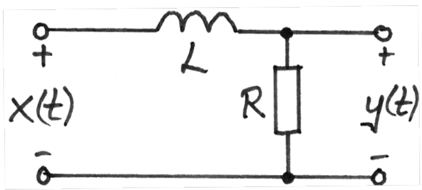


b) Konstellationsdiagrammet (signaluppsättningsdiagrammet) för 4-PSK och 4-QAM har samma principiella utseende.

c) I traditionell M-PSK använder man sinusformade signalpulser $s_i(t)$ med signalpulslängd T och signalpulsfrekvens f_c.
Påstående: Signalpulsernas frekvensspektrum $S_i(f)$ består då av sinc:ar vid $f = \pm 2 f_c$ och man väljer en kombination av f_c och T så att produkten $2 f_c T$ blir ett heltal.

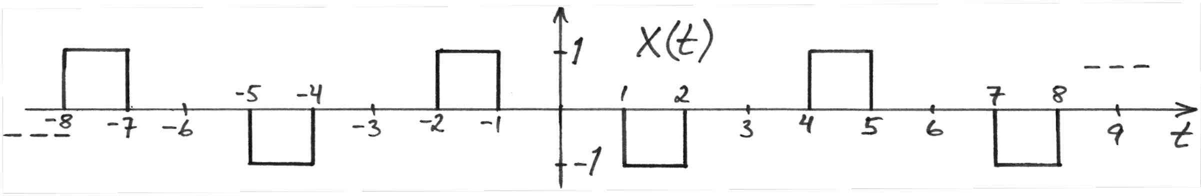
d) Ett tidskontinuerligt system med insignal $x(t)$ och utsignal $y(t) = \int_{-\infty}^{3t} x(\tau)\,d\tau$ är linjärt och kausalt.

e) Den elektriska kretsen nedan, med spänningen $x(t)$ som insignal och spänningen $y(t)$ över resistansen som utsignal, utgör ett LTI-system med impulssvar $h(t) = \frac{R}{L} \cdot e^{-\frac{R}{L}t} u(t)$.



2. Den periodiska signalen $x(t)$ nedan är insignal till ett LTI-system med frekvensfunktion

$$H(\omega) = \frac{j\omega}{\pi + j\omega}$$



a) Beräkna utsignalens komplexa fourierseriekoefficienter D_k. (4 p)

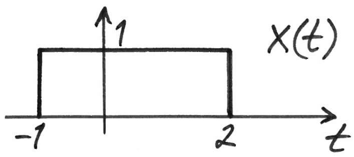
b) Hur mycket kommer systemet att amplitudskala och fasförskjuta insignalens grundton? (1 p)

3. Betrakta ett LTI-system där sambandet mellan insignal $x(t)$ och utsignal $y(t)$ bestäms av

följande integral: $y(t) = \int_{-\infty}^{t} e^{-(t-\tau)} x(\tau - 2)\, d\tau$

a) Bestäm systemets impulssvar. (1 p)

b) Bestäm utsignalen från systemet när insignalen har utseendet enligt figuren till höger. (4 p)



4. Ett visst amplitudnormerat lågpassfilter av butterworthtyp har 3 dB-gränsvinkelfrekvensen $\omega_{3\text{dB}} = 100$ rad/s och filtrets dämpningsfaktor skall vara *högst* $\frac{1}{10}$ vid vinkelfrekvensen

150 rad/s, dvs. $|H(150)| \leq \frac{1}{10}$.

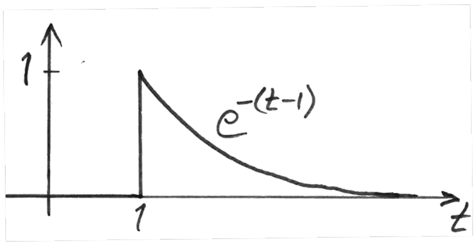
a) Vilket ordning måste filtret minst ha? (2 p)

b) Beräkna dämpningen i decibel vid $\omega = 150$ rad/s, för butterworthfiltret med lägsta ordning enligt uppgift a), dvs. bestäm $|H(150)|_{\text{dB}}$. (1 p)

c) Rita fullständigt pol-nollställediagrammet till butterworthfiltrets systemfunktion $H(s)$, dvs. filtret i uppgift a)–b). Ange även, i grafen, även *vinkelavståndet* mellan polerna samt *nivåkonstant* och *konvergensområde*. (2 p)

5.

a) Ett LTI-system innehållande fördröjningsledningar har ett impulssvar $h(t)$ enligt figuren nedan.



Bestäm, genom laplacetransformberäkning, systemets stegsvar $g(t)$. (2 p)

b) En signal $x(t) = e^{-t}u(t)$ inmatas till ett idealt lågpassfilter med frekvensfunktionen

$$H(\omega) = \begin{cases} 1; & |\omega| \leq 2\pi B \\ 0; & \text{för övrigt} \end{cases}.$$

För vilket värde på filtrets bandbredd B släpper filtret igenom exakt hälften av insignalens energi? (3 p)

(Tips: $\int \frac{1}{a^2 + z^2} dz = \frac{1}{a} \cdot \arctan \frac{z}{a}$)

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 $x(t)$:

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

Utgående från en vektorrepresentation enligt ovanstående, kan man för olika modulationsformer 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: $s_i(t) = A \cdot \cos\left(2\pi\left(f_c + \frac{i}{T}\right)t\right)$, $i = 0,1,2,\ldots, M-1$