2 - 3 - LTI-SYSTEMER I - LF

$\boxed{2}$ Vi beregner først det karakteristiske polynomet

$$\lambda^2 + \lambda + 1 = \left(\lambda - \left(\frac{-1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}i\right)\right)\left(\lambda - \left(\frac{-1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}i\right)\right)$$

som forteller oss at den homogene løsningen er

$$x_h(t) = e^{-t/2}\left(c_1 \cos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right) + c_2 \sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right)\right).$$

Den partikulære løsningen er helt klart

$$x_p(t) = 1,$$

slik at

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t) = e^{-t/2}\left(c_1 \cos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right) + c_2 \sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right)\right) + 1.$$

Initialkravet $x(0) = 0$ gir

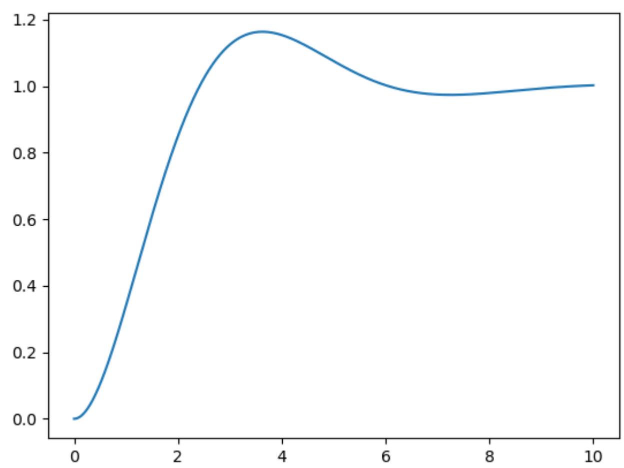
$$c_1 + 1 = 0$$

slik at $c_1 = -1$, mens $\dot{x}(0) = 0$ gir

$$\frac{1}{2} + c_2\frac{\sqrt{3}}{2} = 0$$

slik at $c_2 = -\frac{1}{\sqrt{3}}$. Løsningen er altså

$$x(t) = 1 - e^{-t/2}\left(\cos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right)\right).$$



$\boxed{3}$ Å gausseliminere et slik system, lærte du i høst. Vi beregner

$$\begin{array}{cccc|c} 2 & 3 & 4 & 5 & 2 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 2 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 2 \end{array} \sim \begin{array}{cccc|c} 2 & 3 & 4 & 5 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

Hvis vi velger $x_3 = s$ og $x_4 = t$, blir

$$x_2 = 2 - 2s - 3t$$

og

$$x_1 = \frac{2 - 3(2 - 2s - 3t) - 4s - 5t}{2} = -4 + 2s + 4t,$$

slik at

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4 + 2s + 4t \\ 2 - 2s - 3t \\ s \\ t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + s \begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + t \begin{pmatrix} 4 \\ -3 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Merk nå at strukturen på dette problemet ligner strukturen på det forrige. Vektorene

$$\begin{pmatrix} 2 \\ -2 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad \text{og} \qquad \begin{pmatrix} 4 \\ -3 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

er løsninger av det homogene systemet

$$\begin{array}{cccc|c} 2 & 3 & 4 & 5 & 0 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 0 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 0 \end{array}$$

mens vektoren

$$\begin{pmatrix} -4 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

kun passer i det inhomogene systemet

$$\begin{array}{cccc|c} 2 & 3 & 4 & 5 & 2 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 2 \\ 4 & 5 & 6 & 7 & 2 \end{array}$$

Dette går igjen hver gang du har en system som er en lineæroperator L og en vektor y og så leter du etter x slik at $Lx = y$.

Løs initialverdiproblemene og plott:

$\boxed{4}$ Det ryktes at mange syntes det var slitsomt å skrive $\sqrt{3}/2$ veldig mange ganger, så la oss definere

$$\alpha = -\frac{1}{2} \qquad \text{og} \qquad \omega_0 = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

slik at røttene til det karakteristiske polynomet kan skrives

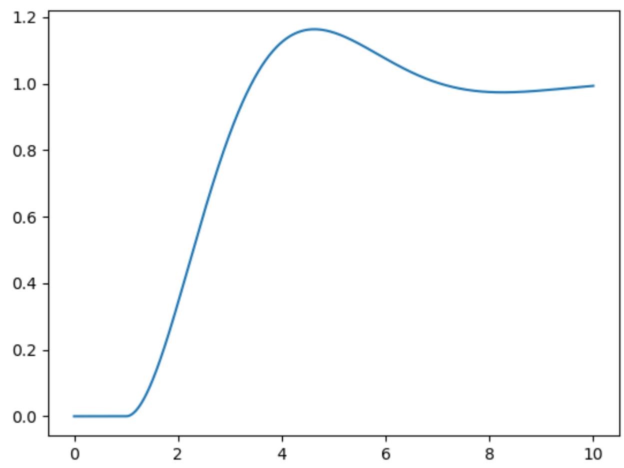
$$\lambda = \alpha \pm i\omega_0$$

og løsningen

$$x(t) = 1 - e^{\alpha t}\left(\cos(\omega_0 t) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin(\omega_0 t)\right).$$

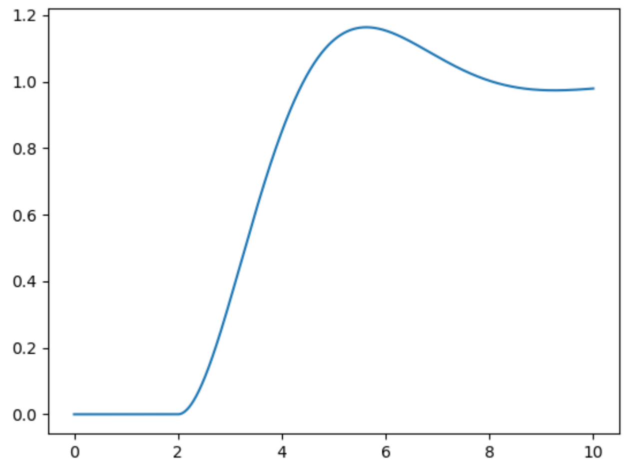
Poenget med lti-trikset er at om vi skrur på den drivende kraften $f(t) = 1$ ved tiden $t = 1$ istedet for $t = 0$, vil systemet oppføre seg akkurat likt. Vi kan derfor ta løsningen av det forrige problemet og skru den på ved tiden $t = 1$ istedet:

$$x(t) = \left(1 - e^{\alpha(t-1)}\left(\cos(\omega_0(t-1)) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin(\omega_0(t-1))\right)\right)u(t-1)$$



$\boxed{5}$ Samme her:

$$x(t) = \left(1 - e^{\alpha(t-2)}\left(\cos(\omega_0(t-2)) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin(\omega_0(t-2))\right)\right)u(t-2)$$



$\boxed{6}$ Her gjelder det å skjønne at superposisjonsprinsippet må brukes for det det er verdt. Hvis vi definerer

$$x_1(t) = \left(1 - e^{\alpha(t-1)}\left(\cos\left(\omega_0(t-1)\right) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\left(\omega_0(t-1)\right)\right)\right)u(t-1)$$

og

$$x_2(t) = \left(1 - e^{\alpha(t-2)}\left(\cos\left(\omega_0(t-2)\right) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\left(\omega_0(t-2)\right)\right)\right)u(t-2)$$

og definerer lineæroperatoren

$$L(x) = \ddot{x} + \dot{x} + x,$$

har vi

$$L\left(x_1(t)\right) = u(t-1)$$

og

$$L\left(x_2(t)\right) = u(t-2)$$

slik at

$$L\left(x_1(t) - x_2(t)\right) = L\left(x_1(t)\right) - L\left(x_2(t)\right) = u(t-1) - u(t-2).$$

Med andre ord er løsningen

$$\begin{aligned} x(t) &= x_1(t) - x_2(t) \\ &= \left(1 - e^{\alpha(t-1)}\left(\cos\left(\omega_0(t-1)\right) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\left(\omega_0(t-1)\right)\right)\right)u(t-1) \\ &- \left(1 - e^{\alpha(t-2)}\left(\cos\left(\omega_0(t-2)\right) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\left(\omega_0(t-2)\right)\right)\right)u(t-2) \end{aligned}$$

Hvis dette virker litt trukket ut av hatten, kan du prøve å regne det ut med laplacetransform.

$\boxed{7}$ Denne skal jeg regne ut med laplace litt senere, og så skal vi se på løsningen og så skal vi skjønne alt.

$\boxed{9}$ Siden eksponensialfunksjonen er egenfunksjon til derivasjonsoperatoren, er den også egenvektor til lineærkombinasjoner av derivasjonsoperatorer:

$$\frac{d^2}{dt^2}e^{at} + \frac{d}{dt}e^{at} + e^{at} = \left(a^2 + a + 1\right)e^{at}$$

Av denne grunn er det vel smart å gjette på

$$x_p(t) = Ce^{i\omega t}$$

som partikulærløsning. Vi setter denne inn på venstresiden og får

$$C\frac{d^2}{dt^2}e^{i\omega t} + C\frac{d}{dt}e^{i\omega t} + Ce^{i\omega t} = \left((i\omega)^2 + i\omega + 1\right)e^{i\omega t}$$

Denne skal jo helst bli lik $e^{i\omega t}$, og det blir den dersom

$$C = \frac{1}{(i\omega)^2 + i\omega + 1}$$

10 Den homogene løsningen er

$$x(t) = A\cos t + B\sin t.$$

For å finne den partikulære, kjører vi på med frekvensrespons. Vi skriver

$$\ddot{x}(t) + x(t) = \frac{1}{2}\left(e^{i\omega t} + e^{-i\omega t}\right),$$

slik at

$$\begin{aligned} x_p(t) =& \frac{1}{2}\left(H(i\omega)e^{i\omega t} + H(-i\omega)e^{-i\omega t}\right) \\ =& \frac{1}{1-\omega^2} \cdot \frac{e^{i\omega t} - e^{-i\omega t}}{2} \\ =& \frac{1}{1-\omega^2}\cos\omega t. \end{aligned}$$

Når $\omega = 1$ er den påtrykte kraften en homogen løsning, og uttrykket over er ikke definert. Man kan gå i Arnes bok og oppdage at partikulærløsningen i dette tilfellet er

$$x_p(t) = t\sin t$$

som øker i amplitude etterhvert som tiden går. Om man påtrykker en ekstern kraft som allerede er en homogen løsning, skjer det samme som når du løper frem og tilbake på fergedekket; gjør du det med riktig frekvens, får din lille masse hele fergen til å vugge frem og tilbake. Dette kalles **resonans**.

11 La $x(t) = e^{at}$. Så lenge realdelen til s er større enn a, får vi

$$\mathcal{L}(x) = \int_0^\infty e^{(a-s)t}\,dt = \frac{1}{s-a}.$$

12 La $\sigma > 0$. Vi beregner

$$\begin{aligned} \mathcal{L}(\dot{x}) &= \int_0^\infty \dot{x}(t)e^{-st}\,dt \\ &= x(t)e^{-st}\Big|_0^\infty + s\int_0^\infty x(t)e^{-st}\,dt \\ &= s\mathcal{L}(x) - x(0). \end{aligned}$$

Vis at

13 Vi bruker linearitet og regneregelen over på venstre side, og får

$$\begin{aligned} \mathcal{L}\left(\dot{x} + ax\right) =& \mathcal{L}\left(\dot{x}\right) + a\mathcal{L}\left(x\right) \\ =& s\mathcal{L}\left(x\right) - x(0) + a\mathcal{L}\left(x\right) \\ =& (s+1)\mathcal{L}\left(x\right) - 1 \end{aligned}$$

mens høyre side blir

$$\mathcal{L}\left(0\right) = 0$$

slik at

$$(s+1)\mathcal{L}\left(x\right) - 1 = 0$$

eller

$$\mathcal{L}\left(x\right)=\frac{1}{s+1}.$$

Sammenlikner vi med forrige oppgave og tror på rettferdighet i verden, kan vi nå slutte at

$$x(t)=e^{-t}.$$

14 Lett:

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(\ddot{x})&=s\mathcal{L}(\dot{x})-\dot{x}(0)\\&=s\left(s\mathcal{L}(x)-x(0)\right)-\dot{x}(0)\\&=s^2\mathcal{L}(x)-sx(0)-\dot{x}(0)\end{aligned}$$

Høyere ordens regneregler er null stress, bare fortsett i samme duren.

15 La $x(t)=\cos t$. Vi beregner

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(x)&=\int_0^\infty e^{-st}\cos t\;dt\\&=\frac{1}{2}\int_0^\infty\left(e^{it}+e^{-it}\right)e^{-st}\;dt\\&=\frac{1}{2}\int_0^\infty e^{(i-s)t}+e^{-(i+s)t}\;dt\\&=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{s-i}+\frac{1}{s+i}\right)=\frac{s}{s^2+1}.\end{aligned}$$

16 La $x(t)=\sin t$, slik at $\dot{x}(t)=\cos t$ og $x(0)=0$. Derivasjonsregelen

$$s\mathcal{L}(x)-x_0=\mathcal{L}(\dot{x})$$

gir

$$s\mathcal{L}(x)=\frac{s}{s^2+1},$$

slik at

$$\mathcal{L}(x)=\frac{1}{s^2+1}.$$

18 Fra nå av skriver jeg $X(s)$ og ikke $\mathcal{L}(x)$. Det er litt lettere å lese. Vi laplacetransformerer begge sider av likningen, bruker lineariteten, derivasjonsreglene og initialkravene, og får

$$s^2X(s)-s+X(s)=0$$

slik at

$$X(s)=\frac{s}{s^2+1}$$

som gir at

$$x(t)=\cos t.$$

19 Ditto. Vi transformerer

$$s^2X(s)-1+X(s)=0$$

og løser

$$X(s) = \frac{1}{s^2+1}$$

slik at

$$x(t) = \sin t.$$

$\boxed{20}$ Ditto. Vi får

$$s^2X(s) - s + sX(s) - 1 + X(s) = 0,$$

som gir

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

Merk hvordan nevnern i høyresiden er det karakteristiske polynomet til likningen. La den ene roten være $\lambda = \alpha + i\omega_0$ slik at den andre blir $\overline{\lambda} = \alpha - i\omega_0$. Vi delbrøksoppspalter slik:

$$\frac{s+1}{s^2+s+1} = \frac{A}{s-\lambda} + \frac{B}{s-\overline{\lambda}}$$

og ganger opp med s^2+s+1, slik at

$$s+1 = A\left(s-\overline{\lambda}\right) + B\left(s-\lambda\right)$$

Sammenlikning av ordener i s på høyre og venstre side gir

$$\begin{aligned} A + B &= 1 \\ -A\overline{\lambda} - B\lambda &= 1 \end{aligned}$$

som løses av

$$A = \frac{1+\lambda}{\lambda-\overline{\lambda}} = \frac{1+\lambda}{2i\omega_0} \qquad B = \frac{1+\overline{\lambda}}{\overline{\lambda}-\lambda} = -\frac{1+\overline{\lambda}}{2i\omega_0}$$

slik at

$$\frac{s+1}{s^2+s+1} = \frac{1}{2i\omega_0}\left(\frac{1+\lambda}{s-\lambda} - \frac{1+\overline{\lambda}}{s-\overline{\lambda}}\right)$$

Nå gjelder det å holde tungen beint i munnen:

$$\begin{aligned} x(t) =& \frac{1}{2i\omega_0}\left(\left(1+\lambda\right)e^{\lambda t} - \left(1+\overline{\lambda}\right)e^{\overline{\lambda}t}\right) \\ =& \frac{e^{\alpha t}}{2i\omega_0}\left(\left(1+\lambda\right)e^{i\omega_0 t} - \left(1+\overline{\lambda}\right)e^{-i\omega_0 t}\right) \\ =& \frac{e^{\alpha t}}{2i\omega_0}\left(\left(1+\lambda\right)e^{i\omega_0 t} - \overline{\left(1+\lambda\right)e^{i\omega_0 t}}\right) \\ =& \frac{e^{\alpha t}}{\omega_0}\text{im}\left(1+\lambda\right)e^{i\omega_0 t} \\ =& \frac{e^{\alpha t}}{\omega_0}\text{im}\left(\left(1+\alpha+i\omega_0\right)\left(\cos\left(\omega_0 t\right) + i\sin\left(\omega_0 t\right)\right)\right) \\ =& \frac{e^{\alpha t}}{\omega_0}\left(\omega_0\cos\left(\omega_0 t\right) + \left(1+\alpha\right)\sin\left(\omega_0 t\right)\right) \\ =& e^{\alpha t}\left(\cos\left(\omega_0 t\right) + \frac{1+\alpha}{\omega_0}\sin\left(\omega_0 t\right)\right) \end{aligned}$$

Hvis vi sammenlikner denne strategien med å lete opp den homogene løsningen

$$x_h(t) = e^{\alpha t}\left(A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t\right)$$

fra det karakteristiske polynomet og så bruke initialkravene for å finne $A = 1$ og $B = (1 + \alpha)/\omega_0$, må vi vel konkludere med at laplacetransform i dette tilfellet var fullstendig underlegent gamlemåten dersom målet var å finne $x(t)$. Men merk at veien frem til

$$X(s) = \frac{s+1}{s^2+s+1}$$

var veldig kort. Poenget med laplacetransformen er ikke egentlig å finne x, men derimot å finne X og så melke denne for informasjon. Dette skal vi se mer på siden. (Poenget med disse oppgavene er bare at du skal skjønne at at en bestemt X leder til en bestemt x. En trent ingeniør gidder ikke finne x.)

$\boxed{21}$ Vi får

$$s^2X(s) + sX(s) + X(s) = \frac{1}{s^2+1}$$

slik at

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

Denne kommer til å bli enda verre enn den forrige; vi må delbrøksoppspalte noe ut av det hinsidige. Det er mye enklere å finne homogen og partikulær. Den homogene løsningen er

$$x_h(t) = e^{\alpha t}\left(A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t\right),$$

mens den partikulære kan vi relativt enkelt finne ved å skrive

$$\ddot{x}(t) + \dot{x}(t) + x(t) = \frac{1}{2}\left(e^{it} + e^{-it}\right)$$

slik at

$$\begin{aligned} x_p(t) &= \frac{1}{2}\left(H(i)e^{it} + H(-i)e^{-it}\right) \\ &= \frac{1}{2}\left(\frac{1}{i}e^{it} + \frac{1}{-i}e^{-it}\right) \\ &= \sin t \end{aligned}$$

og

$$\begin{aligned} x(t) =& x_h(t) + x_p(t) \\ =& e^{\alpha t}\left(A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t\right) + \sin t \end{aligned}$$

Kravet $x(0) = 0$ gir nå $A = 0$, mens $\dot{x}(0) = 0$ gir $\omega_0 B + 1 = 0$, slik at

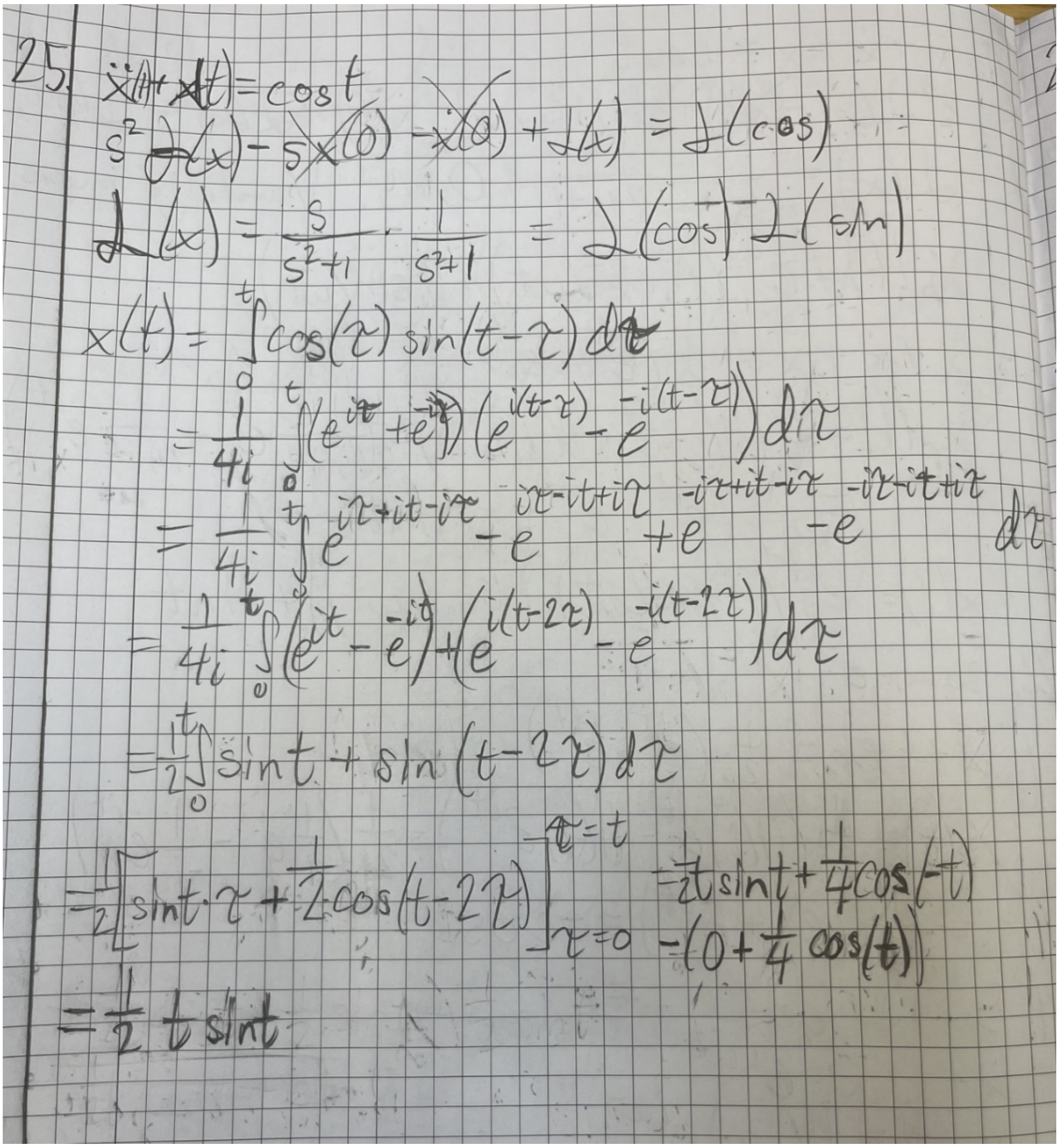
$$x(t) = \sin t - \frac{e^{\alpha t}}{\omega_0}\sin\omega_0 t$$

$\boxed{24}$ Denne likner på den forrige, vi kjører samme strategi:

$$\begin{aligned} x(t) =& x_h(t) + x_p(t) \\ =& e^{\alpha t}\left(A\cos\omega_0 t + B\sin\omega_0 t\right) + H(i\omega)e^{i\omega t} \end{aligned}$$

Konstantene A og B kan du regne ut om du orker.

[25] Slurva litt med denne, men unge lovende Tomren trådte til:



25. $\ddot{x}(t) + x(t) = \cos t$

$s^2\mathcal{L}(x) - s\cancel{x(0)} - \cancel{\dot{x}(0)} + \mathcal{L}(t) = \mathcal{L}(\cos)$

$\mathcal{L}(x) = \frac{s}{s^2+1}\cdot\frac{1}{s^2+1} = \mathcal{L}(\cos)\mathcal{L}(\sin)$

$x(t) = \int_0^t \cos(\tau)\sin(t-\tau)\,d\tau$

$= \frac{1}{4i}\int_0^t (e^{i\tau}+e^{-i\tau})(e^{i(t-\tau)}-e^{-i(t-\tau)})\,d\tau$

$= \frac{1}{4i}\int_0^t e^{i\tau+it-i\tau} - e^{i\tau-it+i\tau} + e^{-i\tau+it-i\tau} - e^{-i\tau-it+i\tau}\,d\tau$

$= \frac{1}{4i}\int_0^t (e^{it}-e^{-it}) + (e^{i(t-2\tau)}-e^{-i(t-2\tau)})\,d\tau$

$= \frac{1}{2}\int_0^t \sin t + \sin(t-2\tau)\,d\tau$

$= \frac{1}{2}\left[\sin t\cdot\tau + \frac{1}{2}\cos(t-2\tau)\right]_{\tau=0}^{\tau=t} = \frac{1}{2}t\sin t + \frac{1}{4}\cos(-t) - (0+\frac{1}{4}\cos(t))$

$= \frac{1}{2}t\sin t$

[26] Denne er også litt artig. Vi får

$$X(s) = \frac{1}{s+1} + \frac{1}{(s+1)^2}$$

Siden

$$-\frac{d}{ds}\frac{1}{s+1} = \frac{1}{(s+1)^2}$$

gir neste oppgave oss at

$$x(t) = e^{-t} + te^{-t}$$

Dette er den homogene og den partikulære løsningen, men det er ikke innlysende at man skal gjette på partikulærløsningen te^{-t} når det drivende leddet er en homogen løsning. Så her var laplacetransform helt klart til hjelp.

$\boxed{27}$ Vi ganger likningen

$$y(t) = tx(t)$$

med e^{-st} og får

$$y(t)e^{-st} = tx(t)e^{-st} = -\frac{d}{ds}x(t)e^{-st}$$

og integrerer fra 0 til ∞, slik at

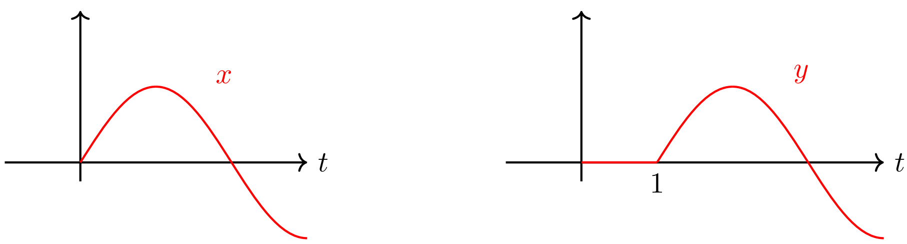
$$Y(s) = \int_0^\infty tx(t)e^{-st}\,dt = -\frac{d}{ds}\int_0^\infty x(t)e^{-st}\,dt = -\frac{d}{ds}X(s).$$

$\boxed{29}$ Vi beregner

$$\int_0^\infty u(t-a)e^{-st}\,dt = \int_a^\infty e^{-st}\,dt = \frac{e^{-as}}{s}$$

og

$$\begin{aligned} Y(s) &= \int_0^\infty u(t-a)x(t-a)e^{-st}\,dt \\ &= \int_a^\infty x(t-a)e^{-st}\,dt \\ &= \int_0^\infty x(t)e^{-s(t+a)}\,dt \\ &= e^{-as}\int_0^\infty x(t)e^{-st}\,dt = e^{-as}X(s) \end{aligned}$$



$\boxed{30}$ På oppgave 4-6 får vi henholdsvis

$$X(s) = \frac{e^{-s}}{s(s^2+s+1)} = e^{-s}\left(\frac{1}{s} - \frac{s+1}{s^2+s+1}\right)$$

$$X(s) = \frac{e^{-2s}}{s(s^2+s+1)} = e^{-2s}\left(\frac{1}{s} - \frac{s+1}{s^2+s+1}\right)$$

$$\begin{aligned} X(s) &= \frac{e^{-s}}{s(s^2+s+1)} - \frac{e^{-2s}}{s(s^2+s+1)} \\ &= e^{-s}\left(\frac{1}{s} - \frac{s+1}{s^2+s+1}\right) - e^{-2s}\left(\frac{1}{s} - \frac{s+1}{s^2+s+1}\right) \\ &= \left(e^{-s} - e^{-2s}\right)\left(\frac{1}{s} - \frac{s+1}{s^2+s+1}\right) \end{aligned}$$

som gir t-skiftede superposisjoner av $x_p(t) = 1$ og løsningen fra oppgave 20. I oppgave 7 får vi

$$X(s) = \frac{s+1}{s^2+s+1} + \frac{e^{-s}}{s(s^2+s+1)}$$

som vi også ser er en superposisjon av løsningene på oppgave 4 og 20. Superposisjonsprinsippet er jammen greit å vite om.

$\boxed{31}$ Lett!

$$Y(s) = \int_0^\infty x(t)e^{at}e^{-st}\,dt = \int_0^\infty x(t)e^{-s(t-a)}\,dt = X(s-a)$$

$\boxed{32}$ Regelen over gir umiddelbart at transformene blir

$$\frac{\omega}{(s-\alpha)^2+\omega^2} \qquad \text{og} \qquad \frac{s-\alpha}{(s-\alpha)^2+\omega^2}$$

Jeg vet ikke om det er helt riktig å si at oppgave 20 blir enklere, men vi kan ihvertfall gjøre den på en komplisert med litt annerledes måte. Vi skriver

$$\begin{aligned}
X(s) &= \frac{s+1}{s^2+s+1} \\
&= \frac{s+1}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \\
&= \frac{s+\frac{1}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} + \frac{\frac{1}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \\
&= \frac{s+\frac{1}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} + \frac{1}{\sqrt{3}}\cdot\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}
\end{aligned}$$

og ser nå lett at

$$x(t) = e^{-t/2}\left(\cos\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right) + \frac{1}{\sqrt{3}}\sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}t\right)\right)$$

Med litt trening, kan det tenkes at dette går kjappere enn å bare skrive opp den homogene løsningen og så bruke initialkravene. Du kan jo ta tiden på deg selv og se. Send meg en epost om du finner ut noe interessant.

$\boxed{33}$ Diracpulsen plukker ut funksjonsverdier under integraltegn, så vi ser lett at

$$\int_0^\infty \delta(t)e^{-st}\,dt = 1$$

Her kommer et eksempel på et tilfelle der laplacetransform gjør analysen fryktelig mye enklere. Begge problemene i oppgaven har laplacetransform

$$X(s) = \frac{m(v_0+sx_0)+bx_0+1}{ms^2+bs+k}$$

der det siste ett-tallet kommer fra deltapulsen i det ene tilfellet, og fra tillegget $1/m$ i initialfarten i det andre. Dette betyr at vi kan tolke deltapulsen som noe som momentant tilfører bevegelsesmengden 1 til bevegelsen. (Husk at bevegelsesmengde er mv.)

$\boxed{34}$ Hvis du vil løse med laplace, blir transformen

$$\begin{aligned} X(s) &= \frac{e^{-s}}{s^2+s+1} \\ &= \frac{e^{-s}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} \\ &= \frac{2}{\sqrt{3}}\left(\frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\left(s+\frac{1}{2}\right)^2+\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}\right)e^{-s} \end{aligned}$$

som gir

$$x(t) = \frac{2}{\sqrt{3}}\left(e^{-(t-1)/2}\sin\left(\frac{\sqrt{3}}{2}(t-1)\right)\right)u(t-1),$$

altså løsningen til

$$\ddot{x}(t)+\dot{x}(t)+x(t)=0 \quad x(0)=0 \quad \dot{x}(0)=1$$

men flyttet et knepp til høyre på t-aksen. Hvis du skjønte forrige oppgave, så du kanskje allerede da at dette var en enklere måte å gjøre det på.

Prøv disse og:

$\boxed{35}$ Vi regner i vei, og får

$$X(s) = \frac{e^{-s}}{s+1}$$

slik at

$$x(t) = u(t-1)e^{-(t-1)}.$$

$\boxed{36}$ og ditto:

$$x(t) = u(t-2)e^{-(t-2)}.$$

$\boxed{37}$ og superposisjonsprinsippet:

$$x(t) = u(t-1)e^{-(t-1)} - u(t-2)e^{-(t-2)}.$$