

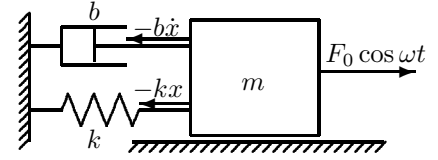
# TFY4115 Fysikk (MTELSYS/MTTK/MTNANO)

## Notat tvungen svingning

Utledningen er ikke pensum, men resultatet og analysene av  $A_0(\omega)$  er pensum.

En tvungen, dempet svingning kan skrives (se krefter i figur):

$$\begin{aligned} -kx - b\dot{x} + F_0 \cos \omega t &= m\ddot{x} \\ \ddot{x} + \frac{b}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x &= \frac{F_0}{m} \cos \omega t \\ \ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x &= f_0 \cos \omega t \end{aligned} \quad (1)$$



Likn. (1) er en ikke-homogen, andreordens differensiallikning med konstante koeffisienter og behandles i matematikken. Den generelle løsningen kan uttrykkes

$$x(t) = x_h(t) + x_p(t)$$

der  $x_h$  er en løsning av den homogene likningen (høyre side = 0) og  $x_p$  er én partikulær løsning. Den homogene likningen er lik den dempede svingelikningen med løsning (for svak demping):  $x_h(t) = x_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega_d t + \phi)$ . Hvis eksitasjonen  $F_0 \cos \omega t$  vedvarer vil etter en viss tid  $x_h(t)$  dempes ut. Dermed står  $x_p(t)$  igjen å finne.

Vi velger å skrive harmoniske variasjoner (cos eller sin) med kompleks notasjon. Dvs. vi erstatte:

$$\cos(\omega t + \phi) \rightarrow e^{i(\omega t + \phi)} = e^{i\phi} e^{i\omega t}.$$

For pådraget er fasevinkelen  $\phi = 0$  slik at

$$f_0 \cos(\omega t) \rightarrow f_0 e^{i\omega t}.$$

Løsningen  $x_p(t)$  må følge samme frekvens som pådraget men med en fasevinkel  $\delta$ , dvs. løsningen må kunne skrives på form (+ $\delta$  eller  $-\delta$  er en smakssak, vi velger  $-\delta$ ):

$$x(t) = A_0 \cos(\omega t - \delta) \rightarrow A_0 e^{-i\delta} e^{i\omega t} = A e^{i\omega t}.$$

Her er  $A_0$  (reell) amplitude, fasevinkelen er  $-\delta$  og disse skal bestemmes som vi gjør gjennom å bestemme den komplekse amplituden  $A = A_0 e^{-i\delta}$ . Til dette har vi følgende uttrykk

$$\begin{aligned} x(t) &= A e^{i\omega t} \\ \dot{x}(t) &= i\omega A e^{i\omega t} \\ \ddot{x}(t) &= i\omega \cdot i\omega A e^{i\omega t} = -\omega^2 A e^{i\omega t} \end{aligned}$$

som vi setter inn i svingelikningen (1) og får

$$-\omega^2 A e^{i\omega t} + 2\gamma i\omega A e^{i\omega t} + \omega_0^2 A e^{i\omega t} = f_0 e^{i\omega t}. \quad (2)$$

Likningen skal gjelde alle  $t$ , slik at vi kan forkorte  $e^{i\omega t}$ . Dette gir følgende likning

$$A \cdot \left( \underbrace{\omega_0^2 - \omega^2}_{=a} + i \underbrace{2\gamma\omega}_{=b} \right) = f_0.$$

Innfører hjelpestørrelsene  $a$  og  $b$  som vist, og da bestemmes den komplekse størrelsen  $A$ :

$$A = \frac{f_0}{a + ib} = \frac{f_0}{a + ib} \cdot \frac{a - ib}{a - ib} = \frac{f_0 a}{a^2 + b^2} - i \frac{f_0 b}{a^2 + b^2} = a' - ib'$$

idet  $(a + ib)(a - ib) = a^2 + b^2$  og vi har innført  $a' = \frac{f_0 a}{a^2 + b^2}$  og  $b' = \frac{f_0 b}{a^2 + b^2}$  for i det videre å spare skrivearbeid.

På kompleks polarform (figur til høyre) skrives  $A$ :

$$A = A_0 \cdot e^{-i\delta}$$

der

$$\tan \delta = \frac{b'}{a'} = \frac{b}{a} = \frac{2\gamma\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}$$

og

$$\underline{A_0(\omega)} = \sqrt{a'^2 + b'^2} = \sqrt{\left( \frac{f_0 a}{a^2 + b^2} \right)^2 + \left( \frac{f_0 b}{a^2 + b^2} \right)^2} = \frac{f_0}{a^2 + b^2} \sqrt{a^2 + b^2} = \frac{f_0}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{f_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\gamma\omega)^2}}.$$

Den tvungne svingning har altså forløp

$$x(t) = A e^{i\omega t} = \underline{A_0(\omega)} e^{-i\delta} e^{i\omega t} \rightarrow \underline{A_0(\omega)} \cos(\omega t - \delta)$$

med  $A_0(\omega)$  og  $\delta(\omega)$  som angitt.

