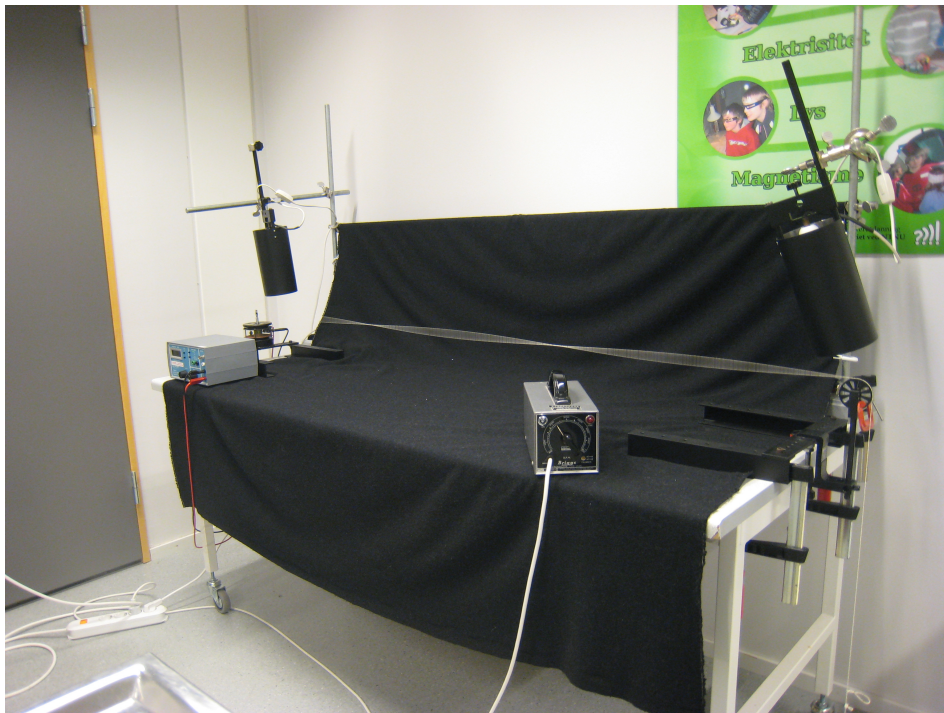


Svingende streng



Hensikt

Laboppsettet vist på bildet er kjent under navnet 'svingende streng', eller 'stående bølger på streng'. Hensikten med oppsettet er å illustrere hvordan stående bølger med et ulikt antall noder og antinoder kan genereres på strengen ved å variere frekvensen på signalgeneratoren. Det er også mulig å få strengen til å svinge sirkulært eller elliptisk polarisert ved å skjevstille festehjulet i forhold til oscillatoren.

Bakgrunnsteori

Grunnteorien bak stående bølger på streng er ganske enkel og antageligvis kjent. Vi gir her en kort oppsummering, og ser på en bølge $W_+(x, t)$ som beveger seg i den positive x-retningen på en streng som er festet i $x = 0$ og $x = L$. Bølgen reflekteres i $x = L$ og gir opphav til en bølge $W_-(x, t)$ som beveger seg i den negative x-retningen:

$$W_+(x, t) = A \sin(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$W_-(x, t) = A' \sin(kx + \omega t) \quad (2)$$

Superposisjon av de to bølgene gir en resultantbølge $W(x, t)$. Vi finner et uttrykk for denne bølgen ved å legge sammen $W_+(x, t)$ og $W_-(x, t)$:

$$\begin{aligned} W(x, t) &= W_+(x, t) + W_-(x, t) \\ &= A \sin(kx - \omega t) + A' \sin(kx + \omega t) \end{aligned} \quad (3)$$

Siden strengen er festet i de to punktene $x = 0$ og $x = L$, vil bølgen $W(x, t)$ være underlagt visse grensebetingelser, fordi amplituden i selve festene alltid må være null. Vi har dermed følgende grensebetingelser for resultantbølgen:

$$W(0, t) = A \sin(-\omega t) + A' \sin(\omega t) = (A' - A) \sin(\omega t) = 0 \quad (4)$$

$$W(L, t) = A \sin(kL - \omega t) + A' \sin(kL + \omega t) = 0 \quad (5)$$

Den første grensebetingelsen gir oss at $A' = A$. Dermed kan vi omskrive den andre grensebetingelsen:

$$W(L, t) = A(\sin(kL - \omega t) + \sin(kL + \omega t)) = 2A \sin(kL) \cos(\omega t) = 0 \quad (6)$$

Denne ligningen er oppfylt for alle t for bølger med amplituder $A \neq 0$, når argumentet til sinusfunksjonen $kL = n\pi$, der $n = 1, 2, 3, \dots$. Bølgetallet $k = 2\pi/\lambda$, der λ er bølgelengden. Dermed kan vi uttrykke dette som at $L = n\lambda/2$, og vi ser altså at amplituden til resultantbølgen $W(x, t)$ er ulik null bare når lengden L av strengen mellom de to festepunktene er lik et helt antall halve bølgelengder. En annen måte å si dette på, er at bare bølger $W_n(x, t)$ med $\lambda_n = 2L/n$ har en amplitudedefaktor $A \neq 0$. Vi får tilsvarende også en begrensning i vinkelfrekvensen ω , siden $\omega = 2\pi f = 2\pi v/\lambda$, der f er frekvensen og v bølgefarten. Med den innsatte begrensningen i λ , får vi altså at $\omega_n = n\pi v/L$. Uttrykket for resultantbølgen blir altså:

$$W_n(x, t) = 2A \sin(2\pi x/\lambda_n) \cos(\omega_n t) \quad (7)$$

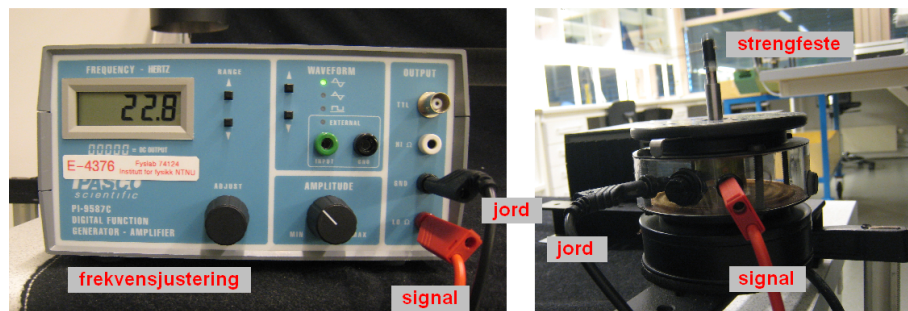
Vi ser at for en gitt strenglengde så er det bare visse oscillasjonsfrekvenser som er kompatible med grensekravene for stående bølger. Hvis vi sier at den stående bølgen med én antinode som oppstår når $n = 1$ har en frekvens $f_1 = \omega_1/2\pi$, så vil den stående bølgen med to antinoder som oppstår når

$n = 2$ ha en frekvens $f_2 = 2f_1$, den stående bølgen med tre antinoder som oppstår når $n = 3$ ha en frekvens $f_3 = 3f_1$, og så videre. Dette kan lett observeres ved å lese av frekvensen på singalgeneratoren når vi oppnår ulike stående bølgemønstre på strengen i laboppsettet. Frekvensen f_1 kalles grunnfrekvensen for strengen, mens de andre tillatte modene gjerne omtales som de overharmoniske.

Oppsett

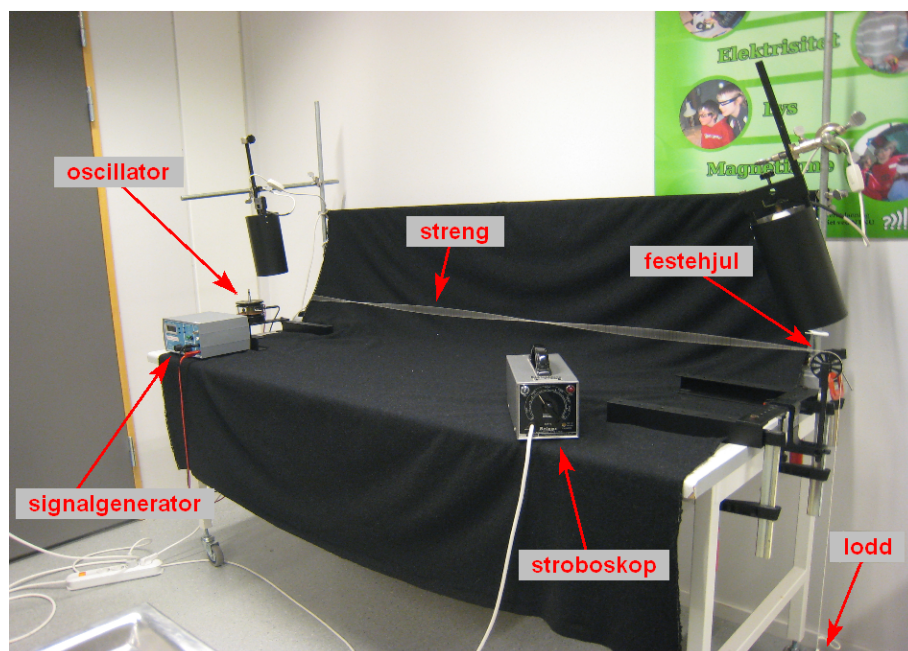
Oppsettet for den svingende strengen er per høsten 2008 montert på et trillebord, slik at oppsettet kan taes med på forelesning. De viktigste delene av oppsettet er listet opp nedenfor. Noen av komponentene er også indikert på Figur 2.

- Pasco Scientific Digital Function Generator – Amplifier
- Pasco Scientific Mechanical Vibrator
- Briggs Stroboscope
- Hvit streng med festeløkker i begge ender
- 2 banan-til-banan kabler
- Et 300 g lodd
- Et festehjul
- Et svart pledd



Figur 1: Frontpanel på signalgeneratoren (venstre) og den mekaniske vibratoren/oscillatoren (høyre). Oppkoblingen mellom dem er vist på figuren.

I tillegg til de listede komponentene, består oppsettet også av flere festeklemmer, noen stativ og to lamper. Det er nødvendig med standard stikkontakt strømforsyning til signalgeneratoren, stroboskopet og de to lampene. Figur 1 viser frontpanelet på signalgeneratoren og oppkoblingen via to banankabler til den mekaniske oscillatoren.



Figur 2: Oppsett for den svingende strengen montert på trillebord.

Ting du kan prøve ut

Før du setter i gang den mekaniske oscillatoren må du legge strengen over festehjulet og henge loddet i enden av strengen slik at strengen ligger i strekk. Slå deretter på signalgeneratoren, og sett amplituden og frekvensen til null. Juster så gradvis opp amplituden, og øk frekvensen til rundt 11 Hz. Rundt dette frekvensområdet finner du den stående bølgen med $n = 1$. Når du fortsetter å øke frekvensen, vil du etterhvert også kunne observere de stående bølgene med $n = 2, 3, 4$ og kanskje flere antinoder.

Du kan bruke stroboskopet til å undersøke frekvensen til de stående bølgene. Stroboskopet gjør det også lettere å observere sirkulær/elliptisk polarisasjon. Lyset fra stroboskopet sendes ut som korte blink med justerbar blinkfrekvens, slik at dersom du matcher frekvensen til stroboskopet med frekvensen til den svingende strengen, så vil det se ut som om strengen står stille i en gitt posisjon.