

Opdracht 1: Terugkoppeling (15')

(1.a) Bepaal de overdrachtskarakteristiek
(= respons op een willekeurige sinus)

$$y(t) = G(\omega) \cdot \sin(\omega t + \Phi(\omega))$$

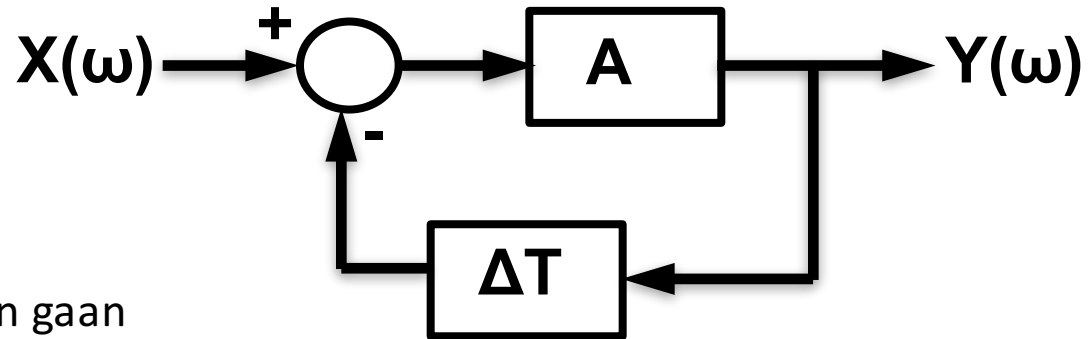
voor het zuivere delay: $y(t) = x(t - \Delta T)$,
en herschrijf dit in complexe notatie:

$$H(\omega) = G(\omega) \cdot \exp(i \cdot \Phi(\omega))$$

(1.b) De figuur toont een feedback systeem met een delay en een constante versterking, A . Bepaal de totale overdracht, gegeven door OUT/IN , dus:

$$H_{TOT}(\omega) = Y(\omega)/X(\omega)$$

Wanneer zal het systeem spontaan gaan oscilleren? (en dus instabiel worden)



(1.c) Maakt het uit of A en/of ΔT in de terugkoppellus zitten?

Opdracht 2: Spectrale vervormingsproducten 20'

Het model van Von Békésy is **lineair**, wat o.a. betekent dat de amplitude van de BM trilling onafhankelijk is van het geluidsniveau. Echter, als we (aandachtig) luisteren naar een superpositie van twee pure tonen, zeg $f_1 = 440$ Hz (muzikale “A”) en $f_2 = 523$ Hz (“C”), kun je een *derde toon* waarnemen, met een frekwentie die dicht bij de “F” (~349 Hz) ligt!

Deze 3e toon is een zogn. **combinatietoon**, met frekwentie $2f_1 - f_2 = 357$ Hz, en is een gevolg van een **niet-lineariteit** in de cochlea (N.B.: het effect verdwijnt als de tonen aan verschillende oren worden aangeboden!).

We gaan nu kijken hoe niet-lineair gedrag combinatietonen oplevert.

(Geluiden te beluisteren op website: mn440523.wav (mono) en st440523.wav (stereo; zie laatste slide ppt)

Voor de eenvoud stellen we dat de respons van het BM, $B(t)$, van de stijgbeugeldruk, $p(t)$, afhangt via een derde-orde polynoom:

$$B(t) = ap(t) + bp^2(t) + cp^3(t)$$

We bieden vervolgens een superpositie van twee tonen aan:

$$p(t) = \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)$$

Laat zien dat het spectrum van $B(t)$ maar liefst 13 frequenties telt! (voor een lineaire overdracht ($b=c=0$) zijn het er maar 2, nl. ω_1 en ω_2 !). Bepaal ook hun relatieve amplitudes.

Welke niet-lineaire term veroorzaakt de “F” combinatietoon?

Thuisopdracht: Binaural Beats ('zweving')

1. Beluister de mono geluiden mn500.wav, mn700.wav en mn1000.wav; ze duren elk 15 sec, en hebben frekventies van resp. 500, 7000 en 1000 Hz. Je kunt deze files afspelen met een standaard audio-speler op je computer. Geef de toon een zeker volume, waardoor hij luid genoeg is, maar niet de speakers overstuurt. Beweeg je hoofd heen en weer t.o.v. de speakers. Wat neem je waar? Verklaar.
2. Met mn500503.wav kun je ook een superpositie van twee tonen (500 en 503 Hz) uit beide speakers laten komen. Er zijn enkele verschillende combinaties gemaakt (500+500.5, 500+501, 500+510, 700+701, 700+700.5, en 1000+1000.5 Hz). Probeer ze allemaal en luister goed.
3. Ook kun je de ene toon uit de ene speaker, en de andere uit de andere speaker laten komen met stereosignalen: st500503.wav, etc. Zet beide speakers op voldoende afstand van elkaar. Hoor je een verschil met de mono-situatie? Is er een essentieel fysisch verschil tussen de twee situaties?
Breng je hoofd op verschillende posities t.o.v. de speakers.
4. Beluister nu de gesommeerde mono-geluiden met de koptelefoon. Wat verwacht je waar te nemen? Is er een verschil met de vrije-velde situatie?
5. Beluister nu de stereogeluiden met de koptelefoon. Als U goed luistert zult U de geluiden waarvan de frekventies dicht op elkaar zitten met de zwevingsfrekwentie van links naar rechts door U hoofd horen bewegen. Probeer nu een verklaring te bedenken voor dit verschijnsel (het is geen akoestische interferentie.....!)

Combineer in je verklaring de volgende twee punten:

- (a) *Als twee signalen $g_1(t) = A \sin(2\pi f_1 t)$ en $g_2(t) = A \sin(2\pi f_2 t)$ tegelijk worden gegenereerd door een geluidsbron, met $f_1 > f_2$, hoe gedraagt zich dan het faseverschil tussen die twee geluiden?*
- (b) *Stel dat een geluidsbron, $g(t) = A \sin(2\pi f t)$, langs een cirkel (straal R) in het horizontale vlak rondom het hoofd kan bewegen. Het hoofd is een bol met straal $r \ll R$, met twee diametraal tegenover elkaar gelegen oren. De azimuth hoek α geeft de positie van de bron aan t.o.v. recht vooruit (oren dus op $\alpha = \pm 90^\circ$, neus $\alpha = 0^\circ$). Geef nu aan hoe het weglengte verschil van het geluid naar beide oren afhangt van α .*

