

## Oefen-deeltentamen 1- Telecommunicatie B (EE2T21): onderdeel telecommunicatietechniek

---

### Opgave 1.

Gegeven is een basisbandsignaal

$$x(t) = 0.7u(t) - 2u(t - \tau)$$

$u(t)$  is de eenheidsstapfunctie  $u(t) = \{0 \text{ voor } t < 0; 1 \text{ voor } t \geq 0\}$ . Voor amplitudemodulatie geldt dat  $m(t) = \mu x(t)$ , waarin  $\mu$  de modulatie-index wordt genoemd.

- a) Schets het gemoduleerde signaal  $s(t)$  als functie van de tijd  $t \in [-2/f_c, +8/f_c]$  voor de volgende drie gevallen:
  - i. amplitudemodulatie (AM) met modulatie-index  $\mu = 0.5$ ;
  - ii. amplitudemodulatie (AM) met modulatie-index  $\mu = 2$ ;
  - iii. dubbelzijbandmodulatie met onderdrukte draaggolf (DSB-SC), waarbij  $m(t) = x(t)$ .  
De draaggolfrequentie is  $f_c$ , en in alle gevallen geldt  $\tau = 5/f_c$ .
- b) Beargumenteer voor elk van de drie bovengenoemde gevallen of  $x(t)$  met een omhullende-detector kan worden teruggewonnen uit  $s(t)$ . Zo nee, geef dan nauwkeurig aan op welke manier correcte demodulatie dan wel mogelijk is.

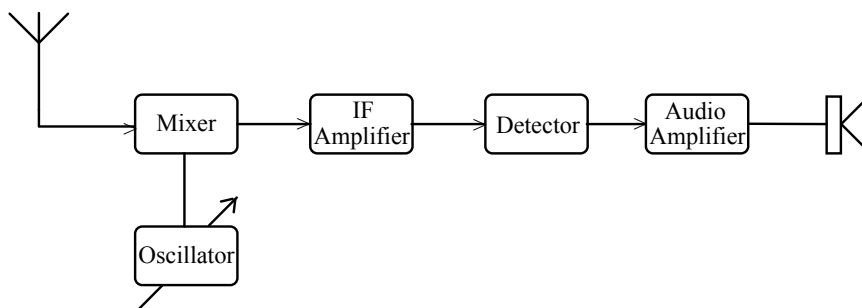
### Opgave 2.

Een dubbelzijband (DSB-SC) gemoduleerd signaal  $s_c(t)$  met top-top waarde  $2A_c$  [V] en additieve witte ruis met tweezijdige spectrale vermogensdichtheid  $N_0/2$  [W/Hz] worden toegevoerd aan een synchrone detector. De bandbreedte van het informatiesignaal  $m(t)$  is  $B$  en de equivalente ruisbandbreedte van het laagdoorlaatfilter van de detector is  $B_L$  met  $B_L > B$ .

- a) Leid een uitdrukking af voor de signaal-ruis verhouding  $SNR_{uit}$  na demodulatie, indien de lokale oscillator van de synchrone detector een fasefout  $\phi$  vertoont.
- b) Hoeveel dB zal  $SNR_{uit}$  bij een fasefout  $\phi = 50^\circ$  slechter zijn dan in de optimale situatie? Motiveer uw antwoord.

Opgave 3.

Een superheterodyne HF-ontvanger voor de korte golf, waarvan het RF-afstembereik loopt van 0.5 - 30 MHz, heeft een middenfrequentie  $f_{IF} = 455$  kHz. De frequentie van de lokale oscillator wordt zo gekozen dat deze altijd hoger is dan de zendfrequentie  $f_c$  waarop de ontvanger is afgestemd. Het principe schema van de ontvanger is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1. Blokschema van de HF-ontvanger

- Bepaal het noodzakelijke afstembereik van de lokale oscillator.
- Bereken de frequentieband waarin de spiegel frequenties ("image signals") liggen, en geef aan welke spiegel frequenties binnen het RF-afstembereik van de ontvanger vallen.
- Met de ontvanger wordt een USSB (upper single sideband) gemoduleerd signaal ontvangen. Welke detector dient er op de middenfrequentie te worden toegepast? Motiveer uw antwoord.

## Uitwerkingen oefen- deeltentamen 1 - Telecommunicatie B (EE2T21) onderdeel telecommunicatietechniek

### Opgave 1.

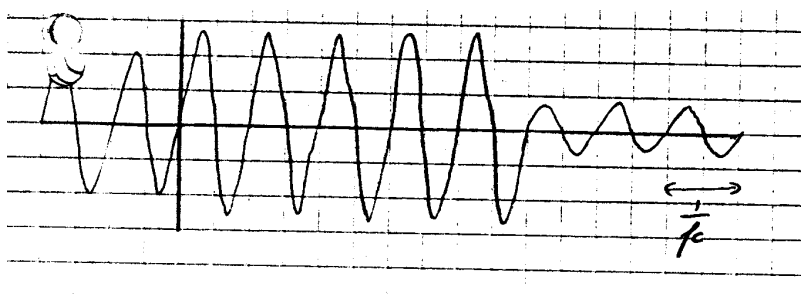
Het basisband signaal  $x(t) = 0.7u(t) - 2u(t - \tau)$  met  $\tau = \frac{5}{f_c}$  wordt met een vorm van amplitude modulatie verzonden.

a.1 AM-modulatie met modulatie-index  $\mu = 0.5$ : het basisband modulatiesignaal is dan

$$m(t) = \mu x(t).$$

Het AM signaal wordt nu:

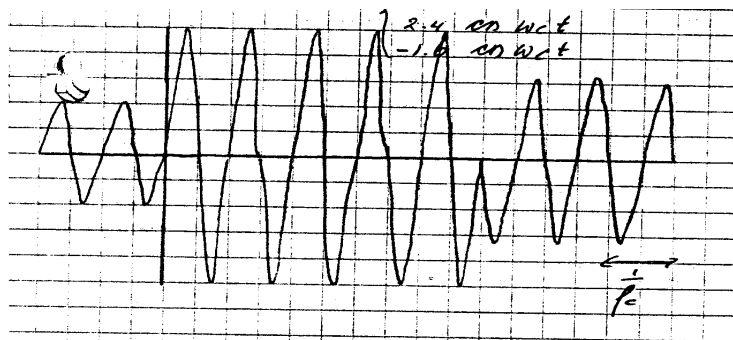
$$\begin{aligned} s(t) &= A_c [1 + m(t)] \cos \omega_c t = A_c [1 + 0.5x(t)] \cos \omega_c t \\ &= A_c [1 + 0.35u(t) - u(t - \tau)] \cos \omega_c t \\ &= \begin{cases} A_c \cos \omega_c t & -\frac{2}{f_c} \leq t < 0 \\ 1.35 A_c \cos \omega_c t & 0 \leq t < \frac{5}{f_c} \\ 0.35 A_c \cos \omega_c t & \frac{5}{f_c} \leq t \leq \frac{8}{f_c} \end{cases} \end{aligned}$$



a.2 AM-modulatie met modulatie-index  $\mu = 2$ .

Het AM signaal wordt nu:

$$\begin{aligned} s(t) &= A_c [1 + m(t)] \cos \omega_c t = A_c [1 + 2x(t)] \cos \omega_c t \\ &= A_c [1 + 1.4u(t) - 4u(t - \tau)] \cos \omega_c t \\ &= \begin{cases} A_c \cos \omega_c t & -\frac{2}{f_c} \leq t < 0 \\ 2.4 A_c \cos \omega_c t & 0 \leq t < \frac{5}{f_c} \\ -1.6 A_c \cos \omega_c t & \frac{5}{f_c} \leq t \leq \frac{8}{f_c} \end{cases} \end{aligned}$$

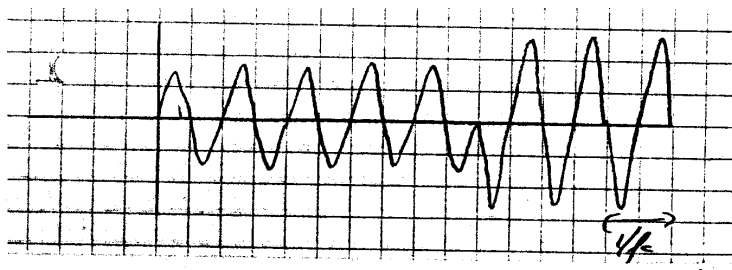


a.3 Dubbelzijband modulatie met onderdrukte draaggolf (DSB-SC): het basisband modulatiesignaal is

dan  $m(t) = x(t)$ .

Het DSB-SC signaal wordt nu:

$$\begin{aligned}
 s(t) &= A_c m(t) \cos \omega_c t = A_c x(t) \cos \omega_c t \\
 &= A_c [0.7u(t) - 2u(t - \tau)] \cos \omega_c t \\
 &= \begin{cases} 0 & -\frac{2}{f_c} \leq t < 0 \\ 0.7 A_c \cos \omega_c t & 0 \leq t < \frac{5}{f_c} \\ -1.3 A_c \cos \omega_c t & \frac{5}{f_c} \leq t \leq \frac{8}{f_c} \end{cases}
 \end{aligned}$$



b.1 Het signaal onder a.1 kan met een omhullende detector worden teruggewonnen want

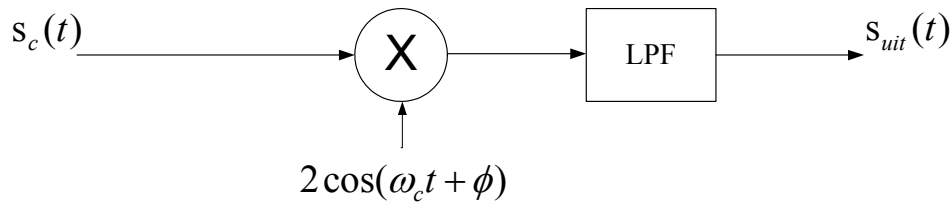
$$1 + m(t) \geq 0.$$

b.2 Het signaal onder a.2 kan niet met een omhullende detector worden teruggewonnen want  $1 + m(t)$  is soms negatief. Hierdoor treedt een fasesprong op van  $180^\circ$  wat tot vervorming leidt bij omhullende detectie. Voor correcte demodulatie dient een coherente detector gebruikt te worden.

b.3 Idem als b.2.

Opgave 2.

Een dubbelzijband gemoduleerd signaal kan geschreven worden als  $s_c(t) = A_c \cos(\omega_c t)$ .



Figuur 1. Synchrone detectie

- a). Synchrone detectie met een fase fout  $\phi$  (zie figuur 1) geeft:

$$\begin{aligned} s_{uit}(t) &= s_c(t) \cos(\omega_c t + \phi) = 2A_c m(t) \cos(\omega_c t) \cos(\omega_c t + \phi) \\ &= A_c m(t) [\cos(\phi) + \cos(2\omega_c t + \phi)] \end{aligned}$$

De tweede term wordt door het laagdoorlaatfilter uitgefilterd. Nu volgt voor het uitgangssignaal:

$s_{uit}(t) = A_c m(t) \cos \phi$  met vermogen  $P_{s_{uit}} = A_c^2 \overline{m^2(t)} \cos^2 \phi$ . Het ruisvermogen na het LPF met equivalente ruisbandbreedte  $B_L$  bedraagt  $P_N = 2 \cdot (2 \cdot B_L) \cdot N_0 / 2 = 2 \cdot B_L \cdot N_0$  (zie Couch, p. 512).

Nu volgt voor de signaal-ruisverhouding op de uitgang:

$$SNR_{uit} = \frac{P_{s_{uit}}}{P_N} = \frac{A_c^2 \overline{m^2(t)} \cos^2 \phi}{2 \cdot B_L \cdot N_0}.$$

- b). Voor een maximaal signaalvermogen na detectie dient  $\phi = 0$  te zijn. De fasefout van  $50^\circ \equiv \frac{5\pi}{18}$  rad leidt tot een degradatie van de SNR van:

$$\frac{SNR_{uit}(\phi = \frac{5\pi}{18})}{SNR_{uit}(\phi = 0)} = \cos^2 \frac{5\pi}{18} = 0.413 \equiv -3.84 \text{ dB} \text{ ten opzichte van de optimale situatie met } \phi = 0.$$

Opgave 3.

Het RF-bereik van de HF-ontvanger is 0.5 – 30 MHz. De middenfrequentie ligt op 455 kHz en de oscillatorfrequentie wordt hoger gekozen dan de te ontvangen frequentie:  $f_{LO} > f_c$ .

- a). Het afstembereik van de oscillator dient te lopen van  $f_{LO\_min} \leq f_{LO} \leq f_{LO\_max}$ , met

$$\begin{aligned} f_{LO\_min} &= f_{c\_min} + f_{IF} = 955 \text{ kHz en } f_{LO\_max} = f_{c\_max} + f_{IF} = 30455 \text{ kHz, dus} \\ 955 &\leq f_{LO} \leq 30455 \text{ kHz.} \end{aligned}$$

- b). Voor een bepaalde frequentie  $f_c$  waarop de ontvanger is afgestemd, vinden we de spiegelfrequentie als:  $f_{sp} = f_{LO} + f_{IF} = f_c + 2f_{IF}$ . Het frequentiegebied waarbinnen de spiegelfrequenties liggen, loopt van  $f_{sp\_min} \leq f_{sp} \leq f_{sp\_max}$ , met  $f_{sp\_min} = f_{c\_min} + 2f_{IF} = 1410$  kHz en  $f_{sp\_max} = f_{c\_max} + 2f_{IF} = 30910$  kHz, dus  $1410 \leq f_{sp} \leq 30910$  kHz. Hieruit blijkt dat de band  $1410 \leq f_{sp} \leq 30000$  overlapt met de afstemband.

- c. Doordat  $f_{LO} > f_c$  (bovenmenging), geldt voor de te ontvangen signalen:  $f_{LO} - f_c = f_{IF}$  en vindt er dus een spiegeling van het signaalspectrum plaats. Hierdoor worden boven- en onderzijband verwisseld, en wordt een ontvangen USSB signaal omgezet in een LSSB signaal  $\Rightarrow$  op  $f_{IF}$  is daarom een LSSB detector nodig.