

Werkcollege 5: huiswerkopgaven

Hieronder volgen de huiswerkopgaven voor het 5e werkcollege Telecommunicatietechniek. Bij het werkcollege wordt verwacht dat je de stof tot dan toe goed hebt bestudeerd en deze opgaven vooraf thuis hebt voorbereid.

Tijdens het werkcollege kun je verder werken aan de opgaven waar je niet bent uitgekomen. Tijdens de werkcolleges worden de antwoorden van de opgaven gegeven.

Opgave 1.

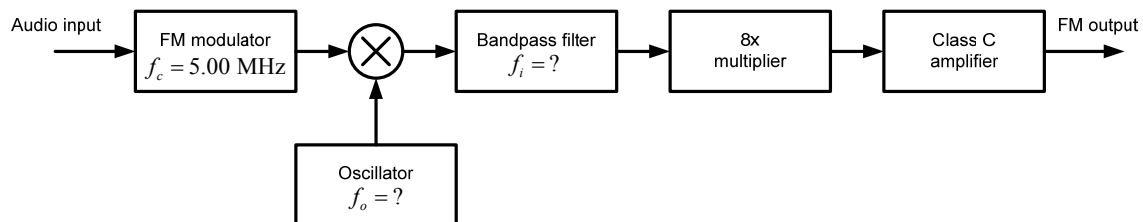
Het sinusvormige signal $m(t) = 10 \cos 2\pi f_m t$, met $f_m = 4.5$ kHz, is hetingangssignaal voor een

FM-modulator op 10 MHz, met $\frac{D_f}{2\pi} = 3$ kHz/V.

- a. Hoe groot is de piek-frequentie deviatie ΔF van het gemoduleerde signaal?
- b. Welk percentage van het gemiddeld uitgezonden vermogen bevindt zich op de draaggolffrequentie $f_c = 10$ MHz?
- c. Geef een goede schatting van de bandbreedte BW van het uitgezonden signaal.

Opgave 2.

Een FM zender is opgebouwd volgens het blokschema van figuur 1. Het audio-ingangssignaal bevindt zich in de frequentieband van 20 Hz - 15 kHz. De draaggolffrequentie van het uitgezonden FM uitgangssignaal dient 95 MHz te bedragen, en de piek frequentie-zwaai (peak deviation) van dit signaal dient $\Delta F_{uit} = 50$ kHz te zijn.



Figuur 1.

- Bepaal de centrale frequentie f_i van het banddoorlaatfilter, en de frequentie f_o van de oscillator.
- Hoe groot is de vereiste piek-frequentiezwaai ΔF_m van de FM modulator (FM-exciter)?
- Bereken de vereiste bandbreedte BW van het banddoorlaatfilter.

Opgave 3.

Een dubbelzijband (DSB-SC) gemoduleerd signaal $s(t)$ 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 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 ϕ vertoont.
- b) Hoeveel dB zal SNR_{uit} bij een fasefout $\phi = 40^\circ$ slechter zijn dan in de optimale situatie? Motiveer uw antwoord.

Opgave 4

Een ontvanger is geschikt voor coherente demodulatie van zowel AM als SSB gemoduleerde signalen. De ingangsweerstand van deze ontvanger is 50Ω . Het volgende AM gemoduleerde signaal wordt ontvangen over een kanaal met Additive White Gaussian Noise:

$$r(t) = A_c[1 + \mu m(t)] \cos \omega_c t + n(t)$$

Hierin is $A_c = 1.5$ volt, $\mu = 0.5$ en $\overline{m^2(t)} = 0.75$. De bandbreedte van het informatiesignaal $m(t)$ is $B = 5$ kHz, en de enkelzijdige spectrale ruisvermogensdichtheid (noise power spectral density) $N_0 = -43$ dBm/Hz.

- a. Bereken de signaal-ruis-verhouding SNR (in dB) van het signaal aan de ingang van de ontvanger.
- b. Bereken de SNR van het signaal aan de uitgang van de ontvanger als deze in de stand AM staat.
- c. Bij ontvangst van hetzelfde signaal wordt de ontvanger in de stand USSB (Upper Single Sideband) ingesteld. Bereken voor deze situatie de SNR aan de uitgang van de ontvanger.

Opgave 5

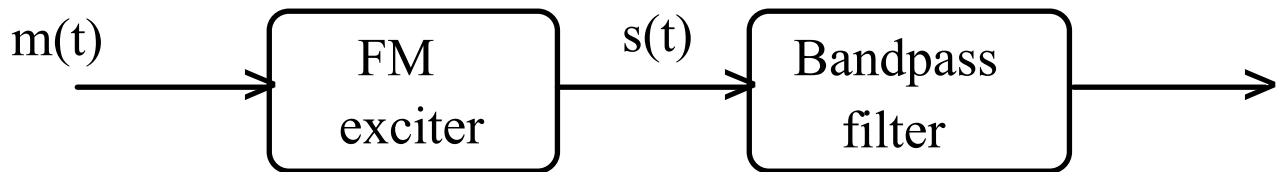
Een FM gemoduleerd muzieksignaal met basisband-bandbreedte $B = 15$ kHz heeft de volgende modulatieparameters: piek frequentiedeviatie $\Delta F = 50$ kHz en $\overline{m^2(t)} / V_p^2 = 0.7$. Het signaalvermogen aan de ingang van de ontvanger is $P_s = -24$ dBm en de tweezijdige spectrale ruisvermogensdichtheid bedraagt $N_0 / 2 = -90$ dBm/Hz.

- a. Bereken de signaal-ruis-verhouding aan de ingang van de detector en na demodulatie aan de uitgang van de detector indien:
 1. de middenfrequent bandbreedte (IF-bandwidth) van de ontvanger gelijk is aan 2x de Carson-bandbreedte.
 2. de basisbandbandbreedte van de ontvanger B bedraagt.
- b. Bereken de SNR na demodulatie, echter nu voor het geval dat de basisband-bandbreedte van de ontvanger $2B$ bedraagt.

Opgave 6

In figuur 2 is een FM modulator (FM-exciter) met banddoorlaatfilter gegeven. Het uitgangssignaal van de modulator is $s(t) = 20 \cos[2000\pi t + \theta(t)]$. Het informatiesignaal $m(t) = 5 \cos(18\pi t)$ en de modulatiegevoeligheid (modulation gain) van de modulator is 12 Hz/volt.

Het filter is een ideaal banddoorlaatfilter, een zogenaamd "brickwall" filter met bandbreedte 60 Hz.



Figuur 2.

- Bereken het genormaliseerde gemiddelde vermogen P_{norm1} (vermogen afgegeven aan een belastingsweerstand van 1Ω) aan de uitgang van de FM modulator, dus vóór het filter.
- Bereken het genormaliseerde gemiddelde vermogen P_{norm2} aan de uitgang van het filter.

Answers:

$$1.a \quad \Delta F = B \cdot \frac{D_f}{2\pi} = 30 \text{ kHz}$$

$$1.b \quad \beta_f = \frac{\Delta F}{f_m} = \frac{30}{4.5} \approx 6.7$$

$$P_{tot} = \frac{A_c^2}{2R} = \frac{A_c^2}{2R} \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta_f)$$

Carrier power =

$$\frac{A_c^2}{2R} J_0^2(\beta_f) \equiv \frac{A_c^2}{2R} J_0^2(6.7) = (0.28)^2 \frac{A_c^2}{2R} \Rightarrow 7.8\%$$

1.c Carsons rule:

$$B_T = 2(\beta_f + 1)B = 2(\beta_f + 1)f_m = 69.3 \text{ kHz}$$

$$2.a \quad f_i = \frac{f_c}{8} = \frac{95 \text{ MHz}}{8} = 11875 \text{ kHz}$$

$$f_{osc} = f_i \pm 5000 \text{ kHz}$$

$$\Rightarrow f_{osc} = 16875 \text{ kHz of } f_{osc} = 6875 \text{ kHz}$$

$$2.b \quad \Delta F_{\text{mod}} = \frac{\Delta F}{8} = \frac{50}{8} = 6.25 \text{ kHz}$$

2.c The modulation index of the modulator is

$$\beta_{f-\text{mod}} = \frac{\Delta F_{\text{mod}}}{B} = \frac{6.25}{15} = 0.417$$

$$B_{BPF} = 2(\beta_{f-\text{mod}} + 1)B = 2(\Delta F_{\text{mod}} + B) = 42.5 \text{ kHz}$$

$$3.a \quad SNR(\phi_{\text{error}}) = \frac{A_c^2 \overline{m^2(t)} \cos^2 \phi_{\text{error}}}{2N_0 B_{LPF}}$$

$$3.b \quad \Delta SNR(\phi_{\text{error}} = 40^\circ) = 10 \log_{10}(\cos^2 \phi_{\text{error}}) = -2.31 \text{ dB}$$

$$4.a \quad P_{s-in} = \frac{A_c^2}{2R_{in}} (1 + \overline{m^2(t)}) = \frac{A_c^2}{2R_{in}} (1 + \mu^2 \overline{x^2(t)})$$

$$= 26.7 \text{ mW} \equiv 14.27 \text{ dBm}$$

$$P_{\text{noise-in}} = 2 \cdot B \cdot N_0 = -3 \text{ dBm}$$

$$SNR_{in} = \frac{P_{s-in}}{P_{\text{noise-in}}} \approx 17.3 \text{ dB}$$

$$4.b1 \quad P_{\text{signal-AM}} = \frac{A_c^2}{R_{in}} \mu^2 \overline{x^2(t)} : \text{the information bearing part}$$

of the signal power.

$$P_{\text{noise-AM}} = 2 \cdot B \cdot N_0$$

$$SNR_{\text{det-AM}} = \frac{P_{s-AM}}{P_{\text{noise-AM}}} = \frac{A_c^2 \mu^2 \overline{x^2(t)}}{R_{in} \cdot 2BN_0} \approx 12.3 \text{ dB}$$

$$4.b2 \quad SNR_{\text{det-DSB}} = SNR_{\text{det-AM}} \approx 12.3 \text{ dB}$$

$$\begin{aligned}
4.c \quad P_{signal-USSB} &= \frac{A_c^2}{2R_{in}} \frac{\overline{\mu^2 x^2(t)}}{2} \\
P_{noise-USSB} &= B \cdot N_0 \\
SNR_{det-USSB} &= \frac{P_{s-USSB}}{P_{noise-USSB}} = \frac{A_c^2}{2R_{in}} \frac{\overline{\mu^2 x^2(t)}}{2BN_0} \approx 9.3 \text{ dB}
\end{aligned}$$

5.a SNR detector input:

$$\begin{aligned}
P_{signal} &= \frac{A_c^2}{2} = 4 \mu\text{W} \equiv -24 \text{ dBm} \\
P_{noise} &= B_{IF} N_0 = 2 \cdot BW_{Carson} \cdot N_0 = 4(\beta_f + 1)B \cdot N_0 \\
\beta_f &= \frac{\Delta F}{B} = \frac{50}{15} = 3.33, \quad B_{bb} = B \\
SNR_{in} &= \frac{P_{signal}}{P_{noise}} = \frac{A_c^2}{2 \cdot 4(\beta_f + 1)B \cdot N_0} \equiv 11.8 \text{ dB} \\
SNR_{out} &= \frac{3A_c^2(\Delta F)^2 \overline{(m^2(t) / V_p^2)}}{2 \cdot N_0 \cdot B_{bb}^3} \\
&= P_{signal} \frac{(\Delta F)^2 \overline{(m^2(t) / V_p^2)}}{N_0 \cdot B_{bb}^3} \equiv 37.9 \text{ dB}
\end{aligned}$$

5.b $B_{bb} = 2B$

$$SNR_{out} = \frac{SNR_{out}(a)}{2^3} \equiv 28.9 \text{ dB}$$

$$6.a \quad P_{norm-1} = \frac{A_c^2}{2} [J_0^2(\beta) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} J_n^2(\beta)] = \frac{A_c^2}{2} = 200 \text{ W}$$

$$6.b \quad \Delta F = \frac{5D_f}{2\pi}, \quad \beta_f = \frac{\Delta F}{f_m} \approx 6.67$$

With $f_m = 9 \text{ Hz}$, there are 7 components within the filter bandwidth ($n = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$), therefore:

$$P_{norm-2} = \frac{A_c^2}{2} [J_0^2(\beta) + 2 \sum_{n=1}^3 J_n^2(\beta)] = 63.2 \text{ W}$$

with $J_0(\beta) = 0.282$, $J_1(\beta) = -0.104$,
 $J_2(\beta) = -0.313$, $J_3(\beta) = -0.084$.