

## Oefententamen Telecommunicatie A (EE2T11)

---

### Opgave 1.

Bereken de volgende omzettingen:

- a) 0.34 W  $\Rightarrow$  dBm
- b) 44 dB $\mu$ W  $\Rightarrow$  mW
- c) -58 dBm  $\Rightarrow$  nW
- d) 14 dB  $\Rightarrow$  (factor)
- e) -46 dBW  $\Rightarrow$   $\mu$ W
- f) 77 mW  $\Rightarrow$  dBW

### Opgave 2.

In figuur 1 is een RC-laagdoorlaatfilter gegeven met  $C = 100$  nF ( $1$  nF =  $10^{-9}$  F), en  $R = 1$  k $\Omega$ .

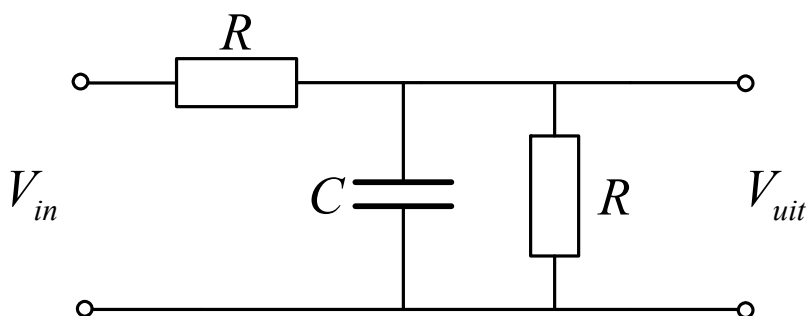


Figure 1.

Dit filter wordt gekarakteriseerd door de overdrachtsfunctie

$$H(f) = \frac{V_{uit}(f)}{V_{in}(f)}$$

- a. Bereken de -3 dB bandbreedte van dit filter.
- b. Bereken de equivalente ruisbandbreedte van dit filter.

Hetingangssignaal van dit filter bestaat uit een sinusvormig signaal met ruis en is gegeven als  $V_{in}(t) = A \sin 4000\pi t + n(t)$  met  $A = 1$  V. De enkelzijdige ruisvermogensdichtheid bedraagt:  $N_0 = 10^{-6} \text{ V}^2 / \text{Hz}$ .

- c. Bepaal de signaal-ruis verhouding aan de uitgang.

Opgave 3.

Een analoog videosignaal  $m(t)$  met bandbreedte  $B = 5.5$  MHz en  $\overline{m^2(t)} = 0.35$ , dient met hoge kwaliteit verzonden te worden over een kabelverbinding. Daartoe wordt het signaal PCM gecodeerd en over een draadloze verbinding verzonden. De gemiddelde signaal-ruis verhouding die aan de uitgang van de PCM-decoder vereist wordt, bedraagt 56 dB.

- a) Bepaal de volgende grootheden:
  1. de minimaal benodigde sample frekwentie  $f_s$ ,
  2. het minimaal benodigde aantal bits dat per sample moet worden overgezonden,
  2. de bitrate  $R_b$  voor de overdracht van het videosignaal bij minimale sample frequentie,
  3. de benodigde transmissiebandbreedte ("null-null" bandbreedte).
- b) Bereken de piek-signaal-ruisverhouding (in dB) op de uitgang van de PCM-decoder, wanneer bij de ontvangst geen bitfouten optreden.
- c) In een kanaal met ruis wordt een gemiddelde signaal-ruisverhouding van 46 dB aan de uitgang van de PCM-decoder gemeten. Bepaal de bitfoutenkans in het gedetecteerde PCM datasignaal.

Opgave 4.

De LEO (Low Earth Orbit) satellieten van het mobiele telefoonsysteem IRIDIUM bewegen zich in een circulaire baan om de aarde op een hoogte van ongeveer 800 km. Het satelliet EIRP bedraagt 20 W, uitgezonden op 1600 MHz.

De ontvanger in de draagbare terminal bevat een halve-golf dipool met antenneruistemperatuur  $T_a = 240$  K, gevolgd door een versterker met gain  $G_v = 25$  dB en ruisgetal (noise figure)  $F_v = 6$  dB, en een frequentieomzetter met een demping van 2 dB en ruisgetal  $F_{fc} = 10$  dB. De equivalente ruisbandbreedte van de ontvanger bedraagt  $B_{eq} = 25$  kHz.

- a) Geef een gedetailleerd blokschema van het mobiele communicatiesysteem.
- Veronderstel voor de vragen b) en d) dat de afstand tussen een satelliet en een draagbare ontvanger in het dekkingsgebied op aarde op een gegeven moment 1200 km is.
- b) Bereken het beschikbare signaalvermogen (in dBm) op de uitgang van de ontvangantenne.
  - c) Bereken de systeemruistemperatuur  $T_{syst}$  van de ontvanger op de uitgang van de ontvangantenne.
  - d) Bereken de signaalruisverhouding (SNR) op de uitgang van de frequentie-omzetter.
  - e) Hoeveel dB stijgt de SNR in d), als de satelliet loodrecht boven de ontvanger passeert?

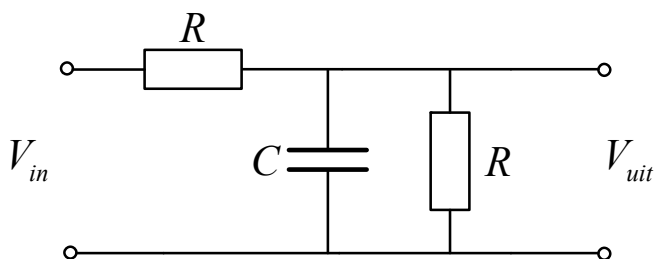
## Uitwerkingen Oefentamen Telecommunicatietechniek I (ET2 029)

---

### Opgave 1.

- |    |               |               |              |
|----|---------------|---------------|--------------|
| a. | 0.34 W        | $\Rightarrow$ | 25.3 dBm     |
| b. | 44 dB $\mu$ W | $\Rightarrow$ | 25.1 mW      |
| c. | -58 dBm       | $\Rightarrow$ | 1.58 nW      |
| d. | 14 dB         | $\Rightarrow$ | 25.1         |
| e. | -46 dBW       | $\Rightarrow$ | 25.1 $\mu$ W |
| f. | 77 mW         | $\Rightarrow$ | -11.1 dBW    |

### Opgave 2.



De overdrachtsfunctie van dit laagdoorlatfilter wordt gegeven door:

$$H(f) = \frac{V_{uit}}{V_{in}} = \frac{Z}{R + Z} = \frac{1}{2 + j\omega RC}$$

waar  $Z = R // \frac{1}{j\omega C} = \frac{R}{1 + j\omega RC}$  et

- a. Voor de 3dB bandbreedte dient de frequentie bepaald te worden waarbij voldaan is aan:

$\frac{|H(f)|^2}{|H(0)|^2} = \frac{1}{2}$ . Normalisatie van de overdrachtsfunctie is nodig om te compenseren voor de doorlaatdemping bij  $f = 0$ .

Uitwerken met  $|H(0)|^2 = \frac{1}{4}$  levert:  $f_{3dB} = \frac{1}{\pi RC} = 3183 \text{ Hz}$

- b. De equivalente ruisbandbreedte is gedefinieerd als:

$$B_{eq} = \int_0^\infty \frac{|H(f)|^2}{|H(0)|^2} df = \int_0^\infty \frac{1}{1 + \alpha^2 f^2} df = \frac{1}{\alpha} \arctan \alpha f \Big|_0^\infty = \frac{\pi}{2\alpha} = 5000 \text{ Hz}$$

met  $\alpha = \pi RC = 3.14 \cdot 10^{-4}$ .

c. De signaal-ruis verhouding (SNR) is gedefinieerd als de verhouding van signaalvermogen  $P_s$  en

ruisvermogen  $P_n$ . Het signaalvermogen is  $P_s = \frac{A_0^2}{2} = 8.96 \cdot 10^{-2} \text{ V}^2$  met

$$A_0 = |H(f = 2\text{kHz})| A = \frac{1}{2\sqrt{1 + (\pi fRC)^2}} = 0.423 \text{ V}. \text{ Het ruisvermogen is}$$

$$P_n = B_{eq} N_0 = 5000 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ V}^2.$$

$$\text{Hiermee vinden we: } SNR = \frac{P_s}{P_n} = \frac{8.96 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-3}} = 17.92 \equiv 12.5 \text{ dB}.$$

### Opgave 3.

Het analoge videosignaal  $m(t)$  heeft een bandbreedte  $BW = 5.5 \text{ MHz}$  en gemiddeld vermogen  $\overline{m^2(t)} = 0.35$ .

a.1). Uit de gemiddelde signaal-ruis verhouding  $\overline{SNR} = M^2 \geq 56 \text{ dB} \equiv 398107$  volgt dat het aantal signaalniveaus  $M \geq 631$  dient te zijn.

Hiermee vinden we voor de woordlengte die nodig is:

$$n = \lceil 2 \log M \rceil = \lceil 2 \log 631 \rceil = \lceil 9.30 \rceil = 10 \text{ bits/sample. Met deze woordlengte krijgen we } M =$$

1024 niveaus en een gemiddelde  $\overline{SNR} = M^2 \equiv 60.2 \text{ dB}$ , waarmee voldaan is aan de eis.

a.2). De minimale samplefrequentie bedraagt  $f_s \geq 2 \cdot BW = 2 \cdot 5.5 \cdot 10^6 = 11 \text{ Msamp/s}$  (Nyquist frequentie). Met de woordlengte vinden we nu voor de datasnelheid  $R_b = n \cdot f_s = 110 \text{ Mbit/s}$ .

a.3). De “null-null”-transmissiebandbreedte voor QPSK modulatie is gelijk aan  $2 \cdot R_b / 2 = 110 \text{ MHz}$ .

b). Zonder bitfouten op het kanaal bedraagt de piek-SNR op de uitgang van de PCM-decoder:

$$SNR_{\text{piek}} = 3M^2 = 3 \cdot (2^{10})^2 = 3 \cdot 2^{20} \equiv 65 \text{ dB}.$$

c). Ten gevolge van bitfouten op het kanaal wordt aan de uitgang van de PCM-decoder een gemiddelde SNR gemeten van 46 dB. Met:

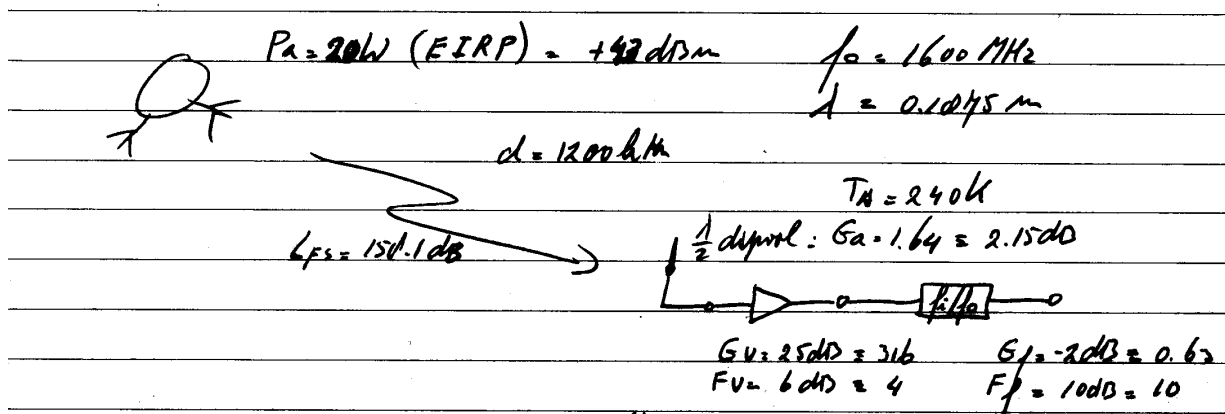
$$\overline{SNR} = \frac{M^2}{1 + 4 \cdot (M^2 - 1) \cdot P_e} = \frac{2^{20}}{1 + 4 \cdot (2^{20} - 1) \cdot P_e} = 10^{4.6}$$

volgt voor de bitfoutenkans  $P_e$ :

$$P_e = \frac{M^2 - \overline{SNR}}{4 \cdot (M^2 - 1) \cdot \overline{SNR}} = 6 \cdot 10^{-6}.$$

## Opgave 4.

- a). Een gedetailleerde schets van het systeem is in figuur 2 gegeven. We nemen aan dat de afstand tussen de satelliet en de mobiele terminal op dit moment gelijk is aan  $d = 1200$  km.



Figuur 2. Schets van het mobiele satelliet communicatiesysteem (één satelliet, één mobiele ontvanger).

Hier bij is gebruik gemaakt van:

- winstfactor  $\frac{\lambda}{2}$ -dipool antenne van de mobiele terminal:  $G_{ant\_mob} = 1.64 \approx 2.15$  dB.
- Vrije ruimte demping:  $L_{FS} = \left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi \cdot 1200 \cdot 10^3}{0.1875}\right)^2 = 6.47 \cdot 10^{15} \approx 158.1$  dB

- b). Het beschikbare vermogen op de uitgang aan de ontvangantenne is:

$$P_{signal} = \frac{P_{z\_EIRP} \cdot G_{ant\_mob}}{L_{FS}} \equiv P_{z\_EIRP} \text{ [dBm]} - L_{FS} \text{ [dB]} + G_{ant\_mob} \text{ [dB]}$$

$$= +43 \text{ dBm} - 158.1 \text{ dB} + 2.15 \text{ dB} = -113 \text{ dBm}.$$

- c). De systeemruistemperatuur is gelijk aan  $T_{syst} = T_a + T_e$ , waarin  $T_a$  de antenne ruistemperatuur en  $T_e$  de equivalente ruistemperatuur van de rest van het ontvangersysteem. Voor  $T_e$  vinden we met de formule van Friis:

$$T_e = (F_v - 1) \cdot T_0 + \frac{(F_{fc} - 1) \cdot T_0}{G_v} = 3 \cdot 290 + \frac{9 \cdot 290}{316} = 878.3 \text{ K},$$

waarin de standaard kamertemperatuur  $T_0 = 290$  K. Hiermee vinden we voor  $T_{syst}$ :

$$T_{syst} = 240 + 878.3 = 1118.3 \text{ K}.$$

- d). Doordat we alle systeemruis op de ingang van de versterker verrekenen, kunnen we de rest van het systeem als ruisvrij beschouwen. Omdat geen ruis wordt toegevoegd en de vermogensversterking voor signaal en ruis gelijk zijn, is de SNR op de uitgang van de frequentie-omzetter gelijk aan de SNR op de ingang van de versterker.

Het ruisvermogen, gemeten in de equivalente ruisbandbreedte  $B_{eq} = 25$  kHz bedraagt:

$$P_{noise} = k \cdot T_{syst} \cdot B_{eq} = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ [W/Hz/K]} \cdot 1118.3 \text{ [K]} \cdot 25 \cdot 10^3 \text{ [Hz]}$$

$$= 3.86 \cdot 10^{-16} \text{ W} \equiv -124.1 \text{ dBm}.$$

We vinden nu voor de SNR:

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}} \equiv P_{signal} \text{ [dBm]} - P_{noise} \text{ [dBm]} = -113 + 124.1 = 11.1 \text{ dB}.$$

- e). Indien de satelliet loodrecht boven de ontvanger passeert, wordt de minimum afstand  $d = 800 \text{ km}$  tussen satelliet en ontvanger bereikt, en is de vrije ruimte demping minimaal:

$$L_{FS\_min} = \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left( \frac{4\pi \cdot 800 \cdot 10^3}{0.1875} \right)^2 = 2.87 \cdot 10^{15} \equiv 154.6 \text{ dB}.$$

Het ontvangen vermogen stijgt dus

met een factor  $\Delta L_{FS} = 158.1 - 154.6 = 3.5 \text{ dB}$  (wat overeen komt met een factor  $\left( \frac{1200}{800} \right)^2 = 2.25$ ).

Omdat het ruisvermogen niet verandert, stijgt hierdoor de SNR ook met 3.5 dB tot 14.6 dB.