

Technische Universität Berlin

Fachgebiet Hochfrequenztechnik

Rechenübung zur Vorlesung

Einführung in die optische Nachrichtentechnik

Aufgaben zum Vorlesungskapitel

Optischer Empfänger**1. Aufgabe: Diskussion verschiedener Empfängerkonzepte**

Es sollen folgende Empfänger-Eingangsstufen für eine Anwendung in der analogen Übertragungstechnik bei einer elektrischen Trägerfrequenz von $f = 100$ MHz mit einer Übertragungsbandbreite von $\Delta f = 5$ MHz (1 Fernsehkanal) analysiert und miteinander verglichen werden:

- hochohmiger Empfänger
- niederohmiger Empfänger
- Empfänger mit Transimpedanzverstärker

Dabei beziehen sich Analyse und Vergleich auf folgende Kenngrößen:

- 3 dB-Bandbreite
- Empfängerempfindlichkeit
- Dynamik

- a) Berechnen Sie die 3 dB-Bandbreite der jeweiligen Empfängerschaltung.
- b) Berechnen Sie für die 3 Schaltungsarten die spektrale Rauschleistungsdichte $\frac{d\overline{i_a^2}}{df}$
- c) Berechnen Sie die minimale optische Empfangsleistung für ein $SNR = 50$ dB.
- d) Berechnen Sie die maximal zulässige optische Leistung für die 3 Schaltungsarten, so daß der FET nicht übersteuert wird.
- e) Bestimmen Sie aus den Ergebnissen 1.3 und 1.4 den Dynamikbereich der Schaltungen bezüglich der empfangenen optischen Leistung.

Folgende Daten sind gegeben:

Konstanten:	Elementarladung:	$e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ As
	Boltzmann-Konstante:	$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K
	Temperatur:	$T = 300$ K
Schaltungsdaten:	Kapazität:	$C_G + C_D = 1$ pF
	Eingangswiderstand:	$R = 10$ M Ω /1 k Ω
	Rückkoppelwiderstand:	$R_F = 10$ k Ω
	(nur Transimpedanzverstärker)	

FET:	Steilheit:	$S = 35 \text{ mS}$
	Gatestrom:	$I_G = 1 \text{ nA}$
	Spannungsverstärkung:	$v = 9$
	Schwellenspannung:	$U_s = -1 \text{ V}$
	Gate-Source-Sättigungsspannung:	$U_{GSmax} = 0.7 \text{ V}$
	Drain-Source-Sättigungsstrom:	$I_{DSS} = 30 \text{ mA}$
PIN-Photodiode:	Empfindlichkeit:	$E_p = 0.5 \text{ A/W}$
Systemdaten:	Modulationsindex:	$m = 0.5$

Lösung:

a) 3 dB-Bandbreite

- hochohmiger Empfänger: $f_g = 15.9 \text{ kHz}$
- niederohmiger Empfänger: $f_g = 159 \text{ MHz}$
- Empfänger mit Transimpedanzverstärker: $f_g = 159 \text{ MHz}$

b) Spektrale Rauschleistungsdichte

- hochohmiger Empfänger: $\frac{di_a^2}{df} = (0.43 \cdot 10^{-12})^2 \frac{\text{A}^2}{\text{Hz}}$
- niederohmiger Empfänger: $\frac{di_a^2}{df} = (4.09 \cdot 10^{-12})^2 \frac{\text{A}^2}{\text{Hz}}$
- Empfänger mit Transimpedanzverstärker: $\frac{di_a^2}{df} = (1.36 \cdot 10^{-12})^2 \frac{\text{A}^2}{\text{Hz}}$

c) Minimale Empfangsleistungen

- hochohmiger Empfänger: $P_{min} = 3.43 \mu\text{W} = -24.7 \text{ dBm}$
- niederohmiger Empfänger: $P_{min} = 17.609 \mu\text{W} = -17.5 \text{ dBm}$
- Empfänger mit Transimpedanzverstärker: $P_{min} = 6.868 \mu\text{W} = -21.6 \text{ dBm}$

d) Maximale Empfangsleistungen

- hochohmiger Empfänger: $P_{max} = 140 \text{ nW} = -38.5 \text{ dBm}$
- niederohmiger Empfänger: $P_{max} = 1.4 \text{ mW} = +1.5 \text{ dBm}$
- Empfänger mit Transimpedanzverstärker: $P_{max} = 1.4 \text{ mW} = +1.5 \text{ dBm}$

e) Dynamik

- hochohmiger Empfänger: $P_{max} - P_{min} = -13.8 \text{ dB}$ (unbrauchbar)
- niederohmiger Empfänger: $P_{max} - P_{min} = +19 \text{ dB}$
- Empfänger mit Transimpedanzverstärker: $P_{max} - P_{min} = +23.1 \text{ dB}$

	Bandbreite	Empfindlichkeit	Dynamik
hochohmiger Verstärker	klein	groß	klein
niederohmiger Verstärker	groß	klein	groß
Transimpedanz-Verstärker	groß	mittel	groß

2. Aufgabe: Dimensionierung eines Empfängers

Es soll ein Empfänger Dimensioniert werden, der bei einer Wellenlänge von $\lambda = 0.8\mu m$ arbeitet. Zur Detektion des optischen Signals soll eine Avalanche Photodiode (APD) verwendet werden. Die Empfängerschaltung ist in Abb. (1) gegeben und wir besitzen folgende Daten:

Konstanten:	Elementarladung:	$e = 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
	Temperatur:	$T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
	Boltzmannkonstante	$k_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Ws/K}$
Schaltungsdaten:	Kapazität:	$C_G + C_D = 1 \text{ pF}$
	Kapazität:	$C_1, C_2 \rightarrow \infty$
	Eingangswiderstand:	$R_1 = 100 \text{ M}\Omega$
	Rückkoppelwiderstand:	$R_f = 20 \text{ k}\Omega$

FET: Steilheit:	$S = 35 \text{ mS}$
Gatestrom:	$I_G = 1.5 \text{ nA}$
Spannungsverstärkung:	$\frac{U_A}{U_E} = v = 12$
$\Gamma = \frac{2}{3}$	

APD: Raumladungsdunkelstrom:	$I_{DV} = 1 \text{ nA}$
Oberflächenleckstrom:	$I_{D0} = 10 \text{ nA}$
Photostrom:	$I_{ph} = 1.5 \mu\text{A}$

- Wie groß muss der Multiplikationsfaktor M an der APD gewählt werden, damit der RIN (dB/Hz) bei einer Trägerfrequenz von $f = 120 \text{ MHz}$ minimal wird?
- Wie groß ist das SNR wenn wir annehmen, das wir 1 Fernsehkanal empfangen? Gehen Sie dabei davon aus, das das Fernsehsignal analog ist und eine Bandbreite von $\Delta f = 10 \text{ MHz}$ hat, bei einer Trägerfrequenz von $f = 120 \text{ MHz}$. Der Modulationsindex beträgt $m_i = 50\%$

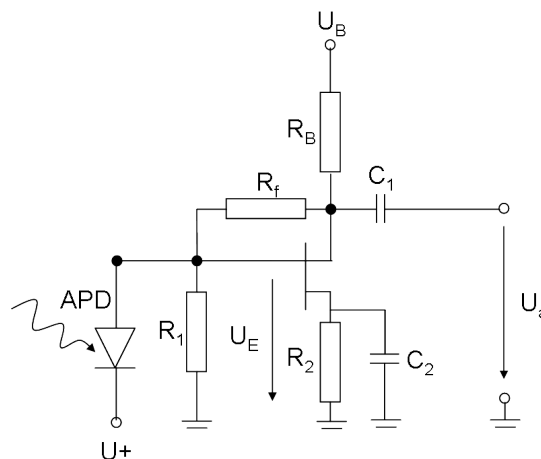


Abbildung 1: Transimpedanz Empfänger