

Aufg. 1 Ein Halbleiterlaser hat: $\tau_{sp} = 3 \text{ ns}$; $\tau_{ph} = 3 \text{ ps}$; $A = 3,2$; $\alpha = 1,5E-2$; $I_s = 25 \text{ mA}$; $EFF = 0,6 \text{ mW/mA}$

- a) Suchen Sie durch Probieren auf dem hp den normierten DC-Arbeitspunkt-Laserstrom \tilde{I}_0 , bei dem im Kleinsignalbetrieb der relative Überschwinger $\dot{U} < 6 \%$ und gleichzeitig die Resonanzfrequenz $f_r > 1,7 \text{ GHz}$ ist. Welcher DC-Arbeitspunkt I_0 folgt?
- b) Wie groß ist die abgestrahlte DC- Leistung P_{opt} bei dem Arbeitspunkt $I_0 = 34 \text{ mA}$ [dieser Wert folgt etwa in Frage a)]? Welche Leistung errechnet sich bei $I_0 = 25 \text{ mA}$ und 50 mA ?
- c) Nun wird um $I_0 = 34 \text{ mA}$ mit $\hat{I} = 2 \text{ mA}$ Kleinsignalamplitude quasistatisch angesteuert. Welche Amplitude \hat{P}_{opt} ($f=0$) der optische Leistung ergibt sich bei linearer DC-Kennlinie?
- d) Bei $f = 1,5 \text{ GHz}$ ist die Amplitude $\hat{P}_{opt AC}$ um den Faktor $|F|$ kleiner als \hat{P}_{opt} ($f=0$), und außerdem entsteht eine Phasenverschiebung. Bestimmen Sie erst für $I_0 = 34 \text{ mA}$ die Größen f_r und δ genau. Berechnen Sie dann $|F|$, die Phasenverschiebung und dann $\hat{P}_{opt AC}$.

Aufg. 2 Entworfen wird ein LWL-System zur Übertragung von USB 3.0 in einem Flugzeug. Die mögliche Länge L des Lichtwellenleiters ist zu untersuchen.

System: PCM, $R = 5 \text{ Gbit/s}$ (0/1 gleich häufig); erforderliche $BER = P_e = 10^{-9}$
LWL: billiger LWL mit 100 dB/km ; Koppellänge $L_c = 2 \text{ km}$; $M = 0,3 \text{ ns/(THz km)}$
Fall 1) Stufenprofil: $b_1 = 50 \text{ MHz km}$; Fall 2) Grad.-LWL: $b_1 = 1 \text{ GHz km}$
Laser: $P_{sende} = 1 \text{ mW}$ im LWL (0/1 gleich häufig); $\lambda_0 = 0,85 \mu\text{m}$; $B_e = 1 \text{ THz}$
Photodiode: 1) PIN oder 2) APD mit $k=0,02$; $\eta_p = 90 \%$
Vorverstärker: Transimpedanzverstärker mit $R_f = 5 \text{ K}\Omega$, $C_1 = 0,7 \text{ pF}$; $R_n = 25 \Omega$

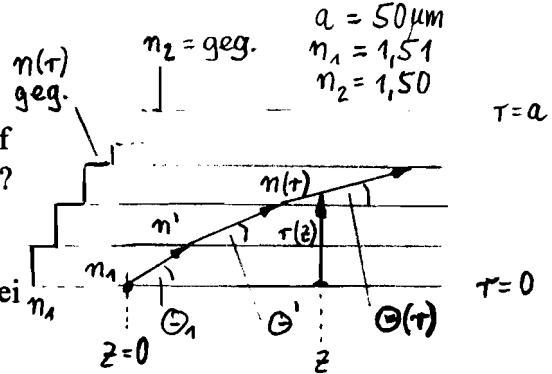
- a) Wie groß sind die Koeffizienten a und b des Verstärkerrauschspektrums?
- b) Leistungsuntersuchung für PIN: Bestimmen Sie die erforderliche Primärelektronenzahl / Puls und die mittlere erforderliche Leistung $P_0/2$ (0/1 gleich häufig) am Empfänger. Welche max. Länge $L_{max \text{ PIN}}$ darf der Lichtwellenleiter dann (aus der Sicht der Leistung) haben?
- c) Leistungsuntersuchung für APD: Wiederholen Sie b) analog für den Fall der APD bei M_{opt} : Wie groß ist M_{opt} , die minimale Primärelektronenzahl/Puls und die mittlere erforderliche Empfangsleistung? Wie groß ist $L_{max \text{ APD}}$ in diesem Fall?
- d) Dispersionsuntersuchung: Für die geg. Bitrate R soll die LWL-Bandbreite mindestens $B_{Faser} = 5 \text{ GHz}$ betragen. Welche max. Länge L_{max} ist dann aus der Sicht der Dispersion 1) bei dem Stufen-LWL und 2) bei dem Gradienten-LWL zulässig? (L auf hp variieren)
- e) Welche Kombination PIN/APD + Stufen/Grad.-LWL wäre für $L = 150 \text{ m}$ am billigsten?

Aufg. 3 Gegeben ist ein Rechteckhohlleiter. Betrachtet wird nur die H_{10} -Welle.

Daten: $\mu_r = \epsilon_r = 1$; $a = 7 \text{ cm}$; $b = 5 \text{ cm}$; $f = 2,5 \text{ GHz}$; **in a)-b)**: $\tan \delta_\mu = 2 \cdot 10^{-5}$; $\tan \delta_\epsilon = 3 \cdot 10^{-5}$
(f_c sei noch näherungsweise definierbar)

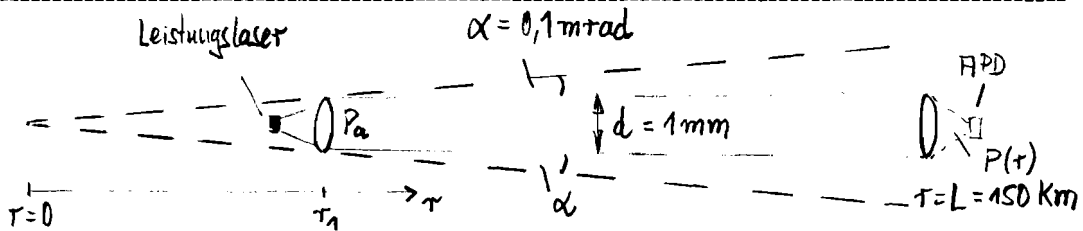
- a) Bestimmen Sie exakt numerisch β , und geben Sie α und β an.
- b) Wie lautet f_{c10}^H ? Bestimmen Sie α mit einer bekannten Näherungsformel für $\tan \delta_{\epsilon,\mu} \ll 1$.
- c) Wiederholen Sie a) und b) für $\tan \delta_\mu = 0,2$ und $\tan \delta_\epsilon = 0,3$. Wie groß ist der relative Fehler der Näherungsformel?

Aufg. 1 Das Gradientenprofil des ebenen Modells sei durch infinitesimal feine Schichten ersetzt.



- Wie lautet $\cos\theta(r)$, wenn Profil $n(r)$, Brechzahl n_1 auf der Achse und Startwinkel θ_1 bei $r=0$ gegeben sind?
- Wie groß ist dann $\tan\theta(r)$, und welches dr/dz hat man bei r ? [Tip: $\tan x$ durch $\cos x$ ausdrücken]
- Spezialisieren Sie dr/dz für den Fall, daß der Strahl bei $r=a$ gerade umkehrt. Wie lautet in $dr/dz = f(r)$ die Funktion $f(r)$?
- Für $n^2(r) = n_1^2 [1 - 2\Delta_n (r/a)^\alpha]$ lautet die Lösung in c) für den Strahlengang bei $\alpha = 2$: $r(z) = a \sin[\sqrt{2\Delta_n} (n_1/n_2) z/a]$; $\Delta_n \ll 1$. Welche örtl. Periodendauer L hat der Strahl?
- Für ein Dreieckprofil mit $\alpha = 1$ findet man $r(z) = z [2 a n_2 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} - \Delta_n n_1^2 z] / (2 a n_2^2)$. Wie heißt diese Funktion? Skizzieren Sie den Verlauf, und bestimmen Sie die Strahlperiode L' aus den Nullstellen.

Aufg. 2



Gegeben ist eine Laserstrecke zwischen Satelliten. Die Leistung nimmt mit $P(r) = P_a (r_1/r)^2$ ab. Durch die Sendeoptik (Durchmesser d) tritt die Leistung P_a mit der Divergenz α .

- Wie groß ist die fiktive Größe r_1 ?
- Welche Leistung P_a benötigt man, wenn man zur 1. Abschätzung von $P(r=L)=5 \text{ nW}$ ausgeht? [Der Wert P_a ist ungewohnt hoch!]
- Berechnen Sie für einen Transimpedanzverstärker die Größen a, b des äquivalenten Rauschspektrums und den Rauschparameter Z für folgende Daten:
 $R=100 \text{ Mbit/s}$, $C_t = 1 \text{ pF}$, $R_f = 140 \text{ KOhm}$, $S = 30 \text{ mS}$, $\lambda_0 = 0,85 \text{ μm}$.
- Bestimmen Sie für eine sehr gute APD mit $\eta_p = 100 \%$ und $K=0.01$ für $P_e = 10^{-9}$ dann den optimalen Multiplikationsfaktor M_{opt} , die Größe N_{min} und die dafür erforderliche mittlere Empfangsleistung [0 und 1 gleich häufig]. Vergleichen Sie mit der Abschätzung.

Aufg. 3 In einem Gebäude seien rechteckige Lüftungsrohre mit vernachlässigbarer Krümmung verlegt. Breite $B = 50 \text{ cm}$, Höhe $H < B$ noch zu bestimmen.

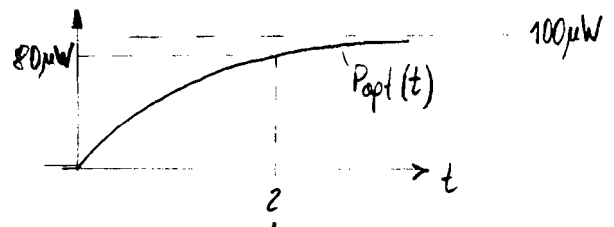
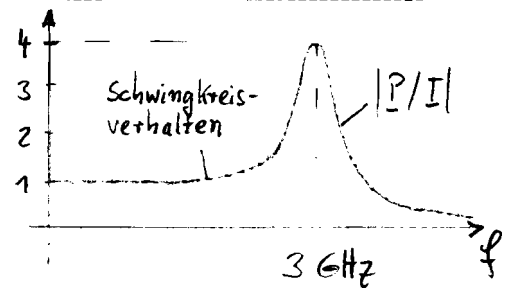
- Bis zu welcher Frequenz breiten sich keine Hohlleiterwellen aus?
- Bei welchem Verhältnis H/B haben H_{20} , E_{11} und H_{11} -Welle gleiche Grenzfrequenz? Berechnen Sie die entsprechende Höhe H . Dieser Wert gilt ab jetzt.
- Welches Frequenzband steht dann für monomode-Betrieb zur Verfügung?
- Betrachtet wird ein Träger bei $f_0 = 440 \text{ MHz}$. Welche Gruppenlaufzeitdifferenz erfahren Signalkomponenten über $L=100 \text{ m}$ innerhalb $\Delta f = 10 \text{ MHz}$?

Aufg. 1 Gegeben ist eine Tunnelröhre ($\phi = 10$ m, $L = 25$ km) aus Stahl, die sich wie eine ideale metallische Wand verhalten möge. Untersucht wird die Gruppenlaufzeit τ . (Rechnen Sie mit 5 Stellen)

- Ab welcher Frequenz ist Funkverbindung mittels ausbreitungsfähiger Hohlleiterwellen möglich?
- Ab welcher Frequenz bekommt man Gruppenlaufzeitstreuung $\Delta\tau_g$ zwischen Wellentypen? Welche Gruppenlaufzeitstreuung $\Delta\tau_g$ hat man bei $f=25$ MHz über 25 km Länge?
- Berechnen Sie allgemein für eine Hohlleiterwelle (Grenzfrequenz f_c) die auf die Länge bezogene Gruppenlaufzeitänderung mit der Frequenz $\frac{1}{L}d\tau/df$. Welcher Wert folgt hier für $f=20$ MHz (nicht 25 MHz!)?
- Welche Gruppenlaufzeitdifferenz hat man in der Grundwelle zwischen $f=f_1=20$ MHz und $f=f_2=20.1$ MHz? Berechnen Sie den Wert exakt über $\tau(f)$ und näherungsweise mit Hilfe der Steigung $\frac{1}{L}d\tau/df$.

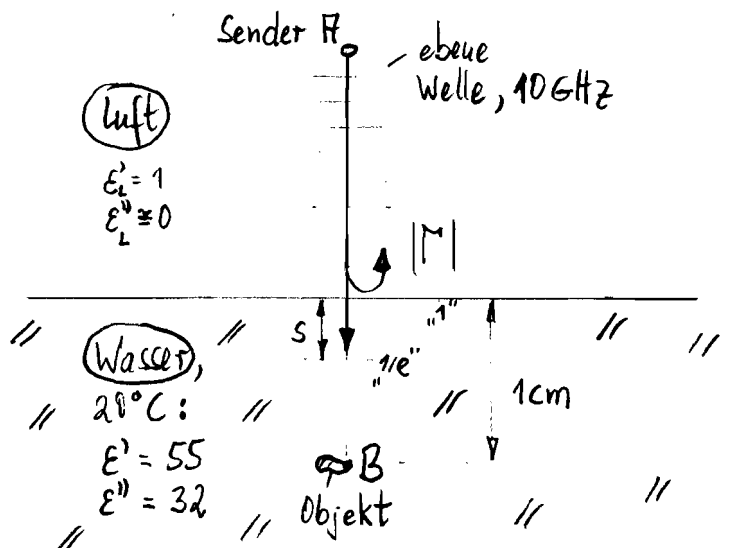
Aufg. 2 Zu untersuchen ist ein Halbleiterlaser mit $\tau_{sp} = 2$ ns, $A=3$).

- Welche Anschlagverzögerung tritt auf, wenn man von 20% unterhalb der Schwelle auf 30% oberhalb der Schwelle pulst?
- Bei harmonischer Modulation 30% oberhalb der Schwelle mißt man nebenstehendes Kleinsignalverhalten. Man berechne die Photonenlebensdauer τ_p , δ und den Bruchteil α der spontan in die Grundwelle emittierten Photonen.
- Im LED-Betrieb unterhalb $I=I_s$ möge die optische Leistung bei einem kleinen Stromsprung exponentiell von 0 auf $100 \mu W$ Endwert ansteigen. Wie lange dauert dann der Anstieg auf $80 \mu W$?



Aufg. 3 Bestimmt wird die Dämpfung einer ebenen Welle.

- Berechnen Sie den komplexen Wellenwiderstand in Wasser und den Reflexionsfaktor $|\Gamma| = |r_{e,m}|$ der ebenen Welle.
- Welcher Leistungsbruchteil transmittiert durch die Oberfläche?
- Man bestimme die Strecke s , nach der das Feld auf $1/e$ abgefallen ist.
- Welche Dämpfung hat man in dB/mm im Wasser?
- Berechnen Sie die Funkfelddämpfung (nur einfacher Weg) in dB vom Sender A zum Objekt B in 1 cm Tiefe.



Name: Matr.-Nr.:

Aufgabe 1 In einem Rechteckhohlleiter zur Übertragung sehr hoher Leistungen soll nur die H_{10} -Welle Leistung führen. Zunächst sei auch nur diese Welle ausbreitungsfähig.

- Welche Welle wird bei $b < \frac{1}{2}a$ nach der H_{10} -Welle zunächst ausbreitungsfähig? (Begründung!). Bestimmen Sie den maximal zulässigen Wert f/f_{c10} , wenn sich nur die H_{10} -Welle ausbreiten soll.
- Geben Sie für die Verhältnisse nach a) allgemein die maximale Feldstärke im Hohlleiter für gegebene Leistung P und gegebene Querschnittsfläche A an.
- Um wieviel Prozent ändert sich die Feldstärke, wenn anders als oben nun $f/f_{c10} \gg 1$ gewählt wird?
- Welche maximale Leistung pro Querschnittsfläche A kann man im Falle a) übertragen, wenn eine Feldstärke von 30 KV/cm zulässig ist?
- Um wieviel Prozent erhöht sich die maximal übertragbare Leistung, wenn man beide Kantenlängen um 10% erhöht, aber wieder die Bedingung nach a) einhält?

Aufgabe 2 Gegeben ist eine vielwellige Gradientenfaser mit etwa parabolischem Profil ($u = 2,1$), die mit Laser bei $1,2 \mu\text{m}$ Wellenlänge betrieben wird.

- Welche Länge kann man bei den unten aufgeführten Daten überbrücken, wenn die Impulsbreite am Ausgang 5 ns und am Eingang 2 ns sein soll?
- Welche Länge errechnet sich ohne Berücksichtigung der Materialdispersion?
- Geben Sie für den Fall a) in dB/km die zulässige Kabeldämpfung an, wenn am Kabelende 150 nW empfangen werden müssen und die Lichtquelle 1 mW einkoppelt.
Daten: $M = 0,1 \text{ ns/THz km}$; $B = 1 \text{ THz}$; $NA = 0,2$; $L_c = 1 \text{ km}$; $u = 2,1$

Aufgabe 3 Ein Videosignal mit 5 MHz Bandbreite soll über eine Glasfaserstrecke übertragen werden, indem die Signalspannung $U(t)$ über einen Verstärker einer LED zugeführt wird, die die optische Leistung entsprechend $P(t) \sim U(t)$ abstrahlt. Die Strecke ist 5 km lang. Daten: $NA = 0,2$

- Welcher vielwellige Fasertyp kommt nur in Frage? Geben Sie eine Begründung an.
 - Welche Gesamtdämpfung kann überbrückt werden, wenn die LED 1 mW abstrahlt und $0,5 \mu\text{W}$ Empfangsleistung gefordert werden? (direkte Ankopplung mit $A_{LED} = A_{Faser}$)
 - Die Strecke enthält 5 Verbindungsstellen mit jeweils 24% Verlust. Welche Verluste erhält man in dB? Wie groß darf die Kabeldämpfung in dB/km sein?
 - Man kann nun auch anstelle des Kabels nach c) ein stärker dämpfendes Kabel (billiger) nehmen und zum Ausgleich einen Laser verwenden, der 15 dB Leistung mehr einkoppelt, aber auch Mehrkosten von 5000 DM verursacht. Der Kabelpreis reduziert sich dafür entsprechend:
- | Kabeldämpfung | Preis |
|---------------|---------|
| 2 dB/km | 10 DM/m |
| 5 .. | 7 .. |
| 8 .. | 3 .. |

Lohnt sich der Aufwand, und wie groß ist ggf. der Gewinn?

Hinweis: Antworten ohne Begründung werden nicht gewertet!