

Name: Kröschel

Vorname: Hans

Matr.-Nr.: 1851536

Anzahl der abgegebenen Blätter: _____

SS / WS	Semester	Fach	Lehrer
05	E4	GN	VLM

FSR - Fachbereichstechnik 1/15

Klausur: Grundlagen der Nachrichtentechnik (E4)

vom 4. Februar 2009

Lösungen ohne Herleitungen und die korrekte Angabe der Einheiten erhalten nur eine verringerte Punktzahl.

	Punkte in Unteraufgaben	Erreichte Punkte	Maximal (+ ZP)
Aufgabe 1	4+2+10+5+4 (+4)	4+0+8+2+4+4+(3)	25 (+4)
Aufgabe 2	4+4+4+4+4 (+8)	3+3+4+3+4 (+6)	20 (+8)
Aufgabe 3	3+3+4+4+6 (+4)	3+3+3+4+3	20 (+4)
Aufgabe 4	4+4+5+4+5+3 (+4)	2+2+2+3+3	25 (+4)
(Zusatzaufgabe 5)	4+3+6+4+3 (+4)	4	20 (+4)
Bewertung:	<u>13</u>	Summe:	90 (+20)

Kleine Formelsammlung:

Verlustfreie Leitung, Länge l		Trigonometrie und Euler	
$ Z_w = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$	$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{L' \cdot C'}}$	$\cos(x) \cdot \cos(y) = [\cos(x+y) + \cos(x-y)]/2$ $\cos(x) = (e^{jx} + e^{-jx})/2$	
$\beta = \frac{\Delta\phi}{l} = \omega \sqrt{L' \cdot C'}$	$c_0 = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	Fourier-Transformation	
	$k = v_{ph}/c_0$	$x(t)e^{j2\pi f_0 t} \leftrightarrow X(f-f_0)$	$e^{j2\pi f_0 t} \leftrightarrow \delta(f-f_0)$
Rauschen und Rauschzahl		Informationstheorie, diskrete Nachrichtenquellen mit N verschiedenen Zeichen	
Rauschzahl $F = \frac{SNR_{\text{Eingang}}}{SNR_{\text{Ausgang}}}$		Informationsgehalt eines Zeichen x $I_x = -\log(p_x) \text{ Bit pro Zeichen}$	
Verfügbare Rauschleistung (thermisch) $P = k \cdot B \cdot T$ Boltzmannkonstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Watt} \cdot \text{s/K}$ B: Bandbreite in Hertz, T: Temperatur in Kelvin		Entropie, mittlerer Informationsgehalt $H = -\sum_{n=1}^N p_n \cdot \log(p_n) \text{ Bit pro Zeichen}$	
Gesamtrauschzahl bei Reihenschaltung $F_{\text{Gesamt}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{v_1} + \frac{F_3 - 1}{v_1 \cdot v_2} + \dots$		Redundanz $R = H_{\text{max}} - H$	Maximale Entropie $H_{\text{max}} = \log(N)$

Aufgabe 1 Huffman Codierung (25+4 Punkte)

Von einer Nachrichtenquelle ist der Zeichensatz und die Zeichenwahrscheinlichkeiten p_i bekannt:

Zeichen	A	B	C	D	E	F
p_i in %	6	12	7	21	43	11

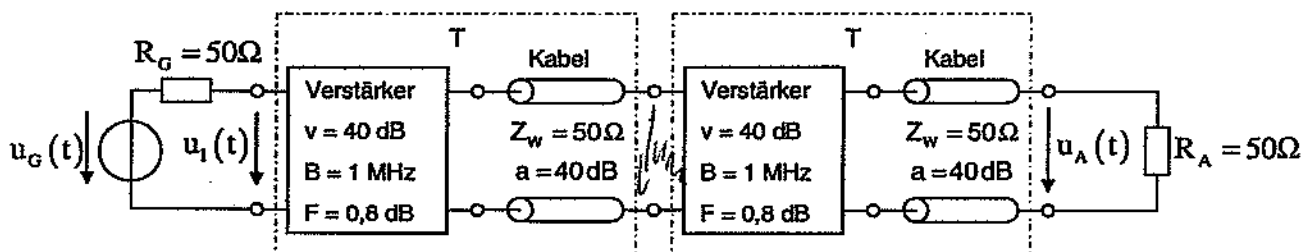
Geben Sie im folgenden immer die Einheiten mit an.

- Berechnen Sie den mittleren Informationsgehalt H pro Zeichen. Wie viele Bits sind im Mittel zur Übertragung von 200 Zeichen notwendig? (4 Punkte)
- Wie groß ist die Redundanz der Quelle? (2 Punkte)

Huffman-Codierung des gegebenen Zeichensatzes:

- Zeichnen Sie einen Codebaum und geben Sie für alle Zeichen den Code an. (10 Punkte)
- Wie viele Bits sind im Mittel zur Übertragung von 200 Zeichens notwendig, wenn Sie die gefundenen Huffman Codes verwenden? (5 Punkte)
- Erklären Sie den Unterschied zwischen einem „physikalischen“ Bit (0,1), z.B. einem Wert in einem Register und einem Bit „Informationsgehalt“. (4 Punkte)
- Zusatzfrage:** Warum sind bei der Huffman Codierung einer Nachricht keine Trennzeichen erforderlich? Erklären Sie die Aussage anschaulich anhand eines Codebaumes. (4 Punkte)

Aufgabe 2 Übertragungssystem (20+8 Punkte)



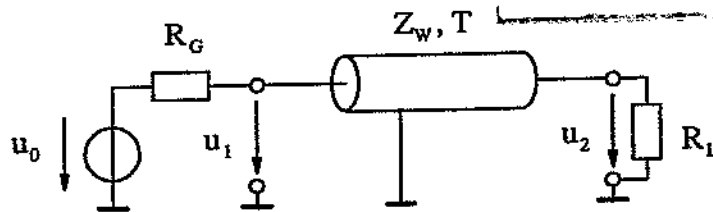
Ein Signal $u_G(t)$ mit 1 MHz Bandbreite wird über zwei gleiche Teilsysteme T mit Rauschzahl F_T und Leistungsverstärkungsfaktor v_T übertragen, die jeweils aus einem Verstärker und einem Kabel bestehen. Die Temperatur des gesamten Systems beträgt $T = 290$ Kelvin, das SNR von $u_A(t)$ beträgt 30 dB und $u_G(t)$ ist bis auf thermisches Rauschen fehlerfrei.

- Berechnen Sie F_T und v_T eines Teilsystems. (4 Punkte)
- Wie groß ist das SNR des Signals $u_1(t)$ in dB? (4 Punkte)
- Wie groß ist die Gesamtrauschzahl $F_{G,A}$ des Systems zwischen $u_G(t)$ und $u_A(t)$? (4 Punkte)
- Welche Signalleistung muss die Spannungsquelle liefern? (4 Punkte)
- Bestimmen Sie den Effektivwert der Spannung $u_G(t)$. (4 Punkte)

Zusatzaufgaben: Nun sollen N gleiche Teilsysteme wie oben zwischen $u_1(t)$ und $u_A(t)$ eingebaut werden. (Die Aufgaben ist ohne die vorherigen Unterpunkte lösbar.)

- Geben Sie für $v_T = 1$ die Gesamtrauschzahl $F_{L,A}$ als Funktion von N und F_T an. (3 Punkte)
- Nun soll vor dem ersten Teilsystem noch ein Verstärker mit Rauschzahl F_0 und Leistungsverstärkungsfaktor $v_0 \gg 1$ vorgeschaltet werden. Bestimmen Sie erneut die Gleichung für $F_{L,A}$. Was folgern Sie aus dem Ergebnis für die Übertragung von analogen Signalen über lange Distanzen (z.B. Transatlantikkabel)? (5 Punkte)

Aufgabe 3 Leitung (20+4 Punkte)



Auf eine verlustfreie Leitung von 40 Meter Länge mit $Z_w = 50\Omega$ wird vom Generator ein Spannungspuls von 100 ns Dauer geschickt. Die Spannung $u_1(t)$ am Leitungseingang wird gemessen. Zuerst sieht man den vom Generator verursachten Puls. Nach 410 ns ist ein zweiter Impuls zu sehen, der die halbe Spannungsamplitude des ersten Pulses hat. Ein dritter Puls nach 820 ns hat ein sechzehntel der Sendespannung des ersten Pulses. Weitere Pulse treten auf, sind aber zu klein für eine genaue Messung.

- Bestimmen Sie Ausbreitungsgeschwindigkeit v_{ph} und Verkürzungsfaktor k . (3 Punkte)
- Bestimmen Sie die beiden Reflexionsfaktoren ρ_L und ρ_G . (3 Punkte)
- Berechnen die beiden Widerstände R_L und R_G . (4 Punkte)

Gehen Sie ab jetzt von $v_{ph} = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, $R_L = 125\Omega$ und $R_G = 100\Omega$ aus.

- Bestimmen Sie die Leitungsbeläge L' und C' . (4 Punkte)
- Wenn der ursprüngliche Generatorpuls eine Amplitude von 7 V hatte, wie groß waren dann die Spannungen $u_1(t)$ und $u_2(t)$ des jeweils ersten am Leitungsanfang bzw. Leitungsende auftretenden Pulses? (6 Punkte)

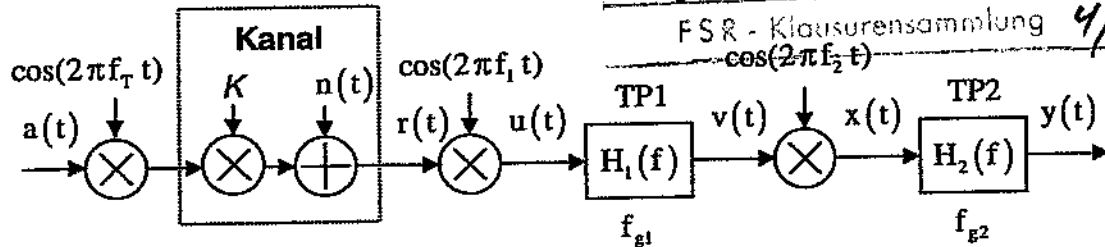
Zusatzaufgabe, allgemeine Fragen zu Leitungen:

- Bei Berechnungen wird in erster Näherung immer angenommen, dass die Leitungsbeläge frequenzunabhängig sind. Für welchen der Beläge R' , L' , C' , und G' ist diese Approximation in der Praxis (z.B. Koaxialkabel) am schlechtesten und welcher Effekt ist dafür verantwortlich. Denken Sie an das Praktikum. (4 Punkte) (Für R' , L' , C' , oder G' alleine keine Punkte!)

Aufgabe 4 Modulation (25+4 Punkte)

WS	Semester	Fach	Prüfung
03	E4	GN	VLM

FSR - Klausurensammlung 4/15

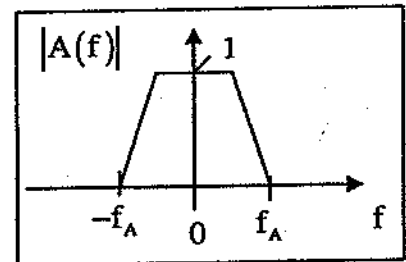


Betrachten Sie das Übertragungssystem. Das zu übertragene Tiefpasssignal $a(t)$ der Bandbreite f_A wird auf die Trägerfrequenz f_T hochgemischt. Das empfangene Signal $r(t)$ wird in zwei Schritten wieder heruntergemischt, d.h. es gilt $f_1 + f_2 = f_T$, wobei $f_1, f_2 > 0$ und $f_2 = 2 \cdot f_A \ll f_T$ ist. Die Tiefpässe TP1 und TP2 sind ideal mit Grenzfrequenzen f_{g1} bzw. f_{g2} , $K < 1$ ist konstant.

Im folgenden soll das Rauschen vernachlässigt werden ($n(t) = 0$).

Die Fouriertransformierten (Spektren) der Zeitsignale werden mit den zugehörigen Großbuchstaben bezeichnet. Zum Beispiel $A(f) = \mathcal{F}\{a(t)\}$.

Beschriften Sie die im folgenden zu skizzierenden Spektren immer in Abhängigkeit des Sendespektrums $|A(f)|$.



Beschriften Sie immer alle Achsen und Signale vollständig.

- Skizzieren Sie $|R(f)|$, d.h. den Betrag des Spektrums von $r(t)$. (4 Punkte)
- Skizzieren Sie das Spektrum $|U(f)|$. (4 Punkte)
- Welche Grenzfrequenz f_{g1} muss das Tiefpassfilter TP1 mindestens haben, damit es aus $|U(f)|$ nur die Spektralanteile $|f| > f_T$ herausgefiltert werden? Zeichnen Sie die Filterfunktion $|H_1(f)|$ in das Bild von $|U(f)|$ ein. (5 Punkte)
- Skizzieren Sie das Spektrum $|X(f)|$. Beschriften Sie wieder alles vollständig. (4 Punkte)
- Wir wollen, dass $Y(f) = \alpha \cdot A(f)$ gilt, wobei α ein konstanter Faktor ist. Welche Grenzfrequenz f_{g2} darf das Tiefpassfilter 2 maximal haben, damit das gilt? Zeichnen Sie $|H_2(f)|$ in das Bild von $|X(f)|$ ein. (5 Punkte)

Anforderungen einstufiger und zweistufiger Mischer

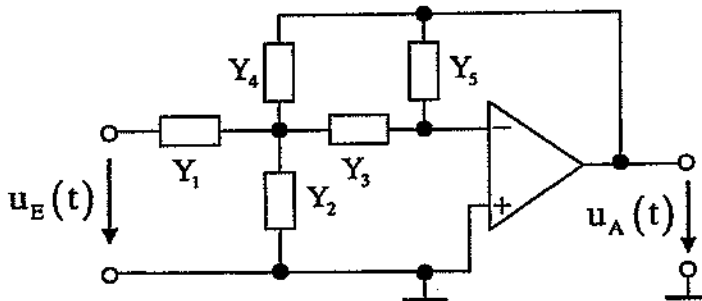
Die Oszillatoren sind nicht perfekt und müssen nachgeregt werden, um das gewünschte Ausgangssignal zu erreichen. Die Frequenz soll hier in Schritten von 2 Hertz einstellbar sein. Für die Berechnungen gilt $f_T = 1$ GHz. Die relative Regelgenauigkeit ist durch $\Delta f_x / f_x$ definiert, dabei ist f_x die Sollfrequenz und Δf_x die Schrittweite.

- Zunächst wird in einem Schritt heruntergemischt. Berechnen Sie die erforderliche relative Regelgenauigkeit des Oszillators. (3 Punkte)
- Zusatzfrage:** Beim dem zweistufigen Mischer gilt nun $f_1 = 998$ MHz und $\Delta f_1 / f_1 = 5 \cdot 10^{-6}$. Der erste Mischer wird nicht geregelt. In welchem Bereich muss f_2 einstellbar sein? Berechnen Sie die erforderliche relative Regelgenauigkeit des zweiten Oszillators. (4 Punkte)

Aufgabe 5 Filterentwurf (20+4 Punkte)

Mit der gegebenen Schaltung mit Mehrfachrückkopplung soll ein Bandpassfilter zweiter Ordnung realisiert werden. Die Bauelementtypen sind in der Tabelle angegeben.

Admittanz	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
Bauelement	R_1	-	C_1	C_2	R_2



Schaltung mit Mehrfachrückkopplung

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{-Y_1 \cdot Y_3}{Y_5 \cdot (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 \cdot Y_4}$$

Tiefpaß erster Ordnung

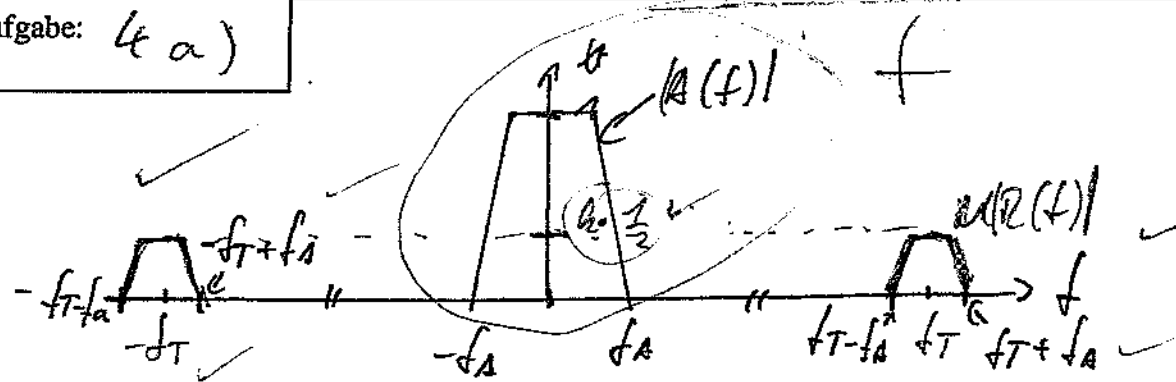
$$H_{TP} = H_0 \cdot \frac{1}{1 + s/\omega_g} = H_0 \cdot \frac{1}{1 + \tilde{s}} \quad \text{mit } \tilde{s} = \frac{s}{\omega_g}$$

- Berechnen Sie aus der Tiefpassübertragungsfunktion mit der TP-BP Transformation $\tilde{s} \rightarrow (1 + \tilde{s}^2)/\tilde{s}$ die Bandpassübertragungsfunktion $H_{BP}(\tilde{s})$. Setzen Sie darin $\tilde{s} = s/\omega_g$ ein und geben Sie $H_{BP}(s)$ in Normalform an. (4 Punkte)
(Normalform: Nennerpolynom hat die Form $1 + \alpha_1 \cdot s + \alpha_2 \cdot s^2 + \dots$)
- Geben Sie die Übertragungsfunktion U_A/U_E der Schaltung als Funktion von s und den Bauelementen in Normalform auf. (3 Punkte)
- Bestimmen Sie aus a) und b) R_1 und R_2 als Funktionen von C_1 , C_2 und ω_g . **Achtung:** R_1 und R_2 dürfen nicht voneinander abhängen. (6 Punkte).
- Nun sei $C_1 = 3 \cdot C_2 = 3 \mu F$. Berechnen Sie für die Grenzkreisfrequenz $\omega_g = 2,5 \text{ kHz}$ die Werte von R_1 und R_2 . (4 Punkte)
- Ein Bandpassfilter hat eine Mittenfrequenz ω_m . Ist das ω_g vom ursprünglichen Tiefpassfilters gleich der Mittenfrequenz ω_m des Bandpassfilters? Betrachten Sie dazu die Definition des TP-BP Transformation und das Tiefpassfilter für $\omega = \omega_g$. (3 Punkte)
- Allgemeine Frage:** Eine Bandsperrung zweiter Ordnung hat die Übertragungsfunktion

$$H_{BS}(\tilde{s}) = H_0 \cdot \frac{1 + \tilde{s}^2}{1 + a \cdot \tilde{s} + b \cdot \tilde{s}^2} \quad \text{mit } \tilde{s} = \frac{s}{\omega_g}$$

Kann mit der Schaltung mit Mehrfachrückkopplung eine Bandsperrung realisiert werden, wenn die Bauelemente immer nur ein Kondensator oder ein Widerstand sein dürfen, d.h. $Y_k = 1/R_k$ oder $Y_k = s \cdot C_k$? Begründen Sie Ihre Antwort. (4 Punkte)

Aufgabe: 4a)



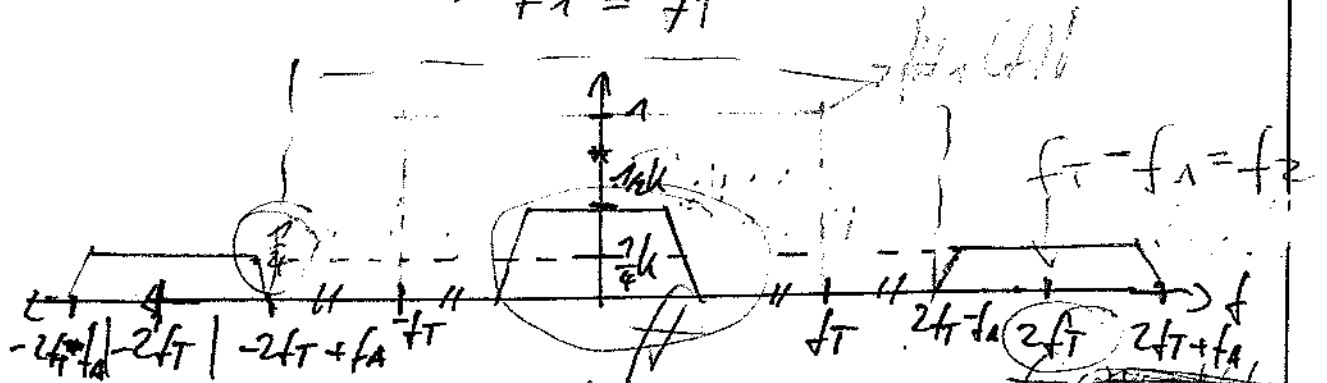
$$R(f) = k \cdot \frac{1}{2} (A(f)) * (\delta(f-f_T) + \delta(f+f_T))$$

$$r(t) = a(t) \cdot \cos(2\pi f_T t) \cdot k$$

noch
2/4

Aufgabe: 4b)c)

mit $f_1 + f_2 = f_T$ und $f_2 = 2 \cdot f_A \ll f_T$
 $\Rightarrow f_1 \approx f_T$



$$\Rightarrow u(t) = k \cdot a(t) \cdot \cos(2\pi f_T t) \cdot \cos(2\pi f_2 t)$$

$$\Rightarrow U(f) = k \cdot A(f) * \left(\frac{1}{2} (\delta(f)) + \frac{1}{4} (\delta(f-2f_T) + \delta(f+2f_T)) \right)$$

Damit nur Frequenzen mit $|f| > f_T$ heraus-
 gefiltert werden, muss der TP eine fg von
 Grenzfrequenz von $f_g = f_T$ haben.

max Wert gefragt

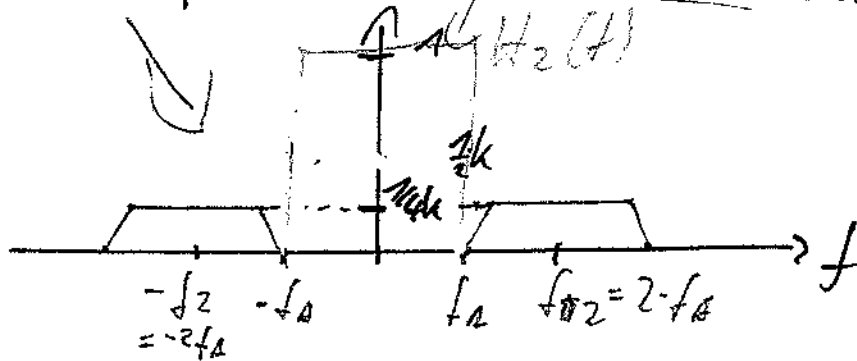
b)
noch
1/4

c)
noch
2/5

Aufgabe: 4d)

$$x(t) = v(t) \times \cos(2\pi f_2 t)$$

$$V(f) = \frac{1}{2} k \cdot |A(f)|$$

Wegen oft
Sinuswellen


Aufgabe: 4e)

Das Tiefpass filter hat maximal die Grenzfrequenz $f_g = f_0$ haben. Aber nach TP 1 ist $V(f) = \frac{1}{2} k A(f)$. Mit \cos multipliziert ist eine Verschiebung \Rightarrow unter $H_2(f)$ ist nichts !!

Aufgabe:

Aufgabe 11

FSR - Klausurensammlung

8/15

$$H = - \sum p_n \cdot \log_2 \left(\frac{1}{p_n} \right)$$

erste 3 Zeichen: 0,87916

zweite 3 Zeichen: 1,34667

$$H = 2,224 \text{ Bit/Zeichen}$$

Es sind 200 Zeichen $\cdot 2,224 \text{ Bit/Zeichen}$

$$= 444,8 \text{ Bit Notwendig}$$

$$\approx 446 \text{ (Aufrunden, weil weiter nicht ausreichen)}$$

414

Aufgabe:

16)

Redundanz: $H_{\max} - H; f$

$$H_{\max} = 2,224; H = 2,224$$

$$\Rightarrow \text{Redundanz} = 0$$

012

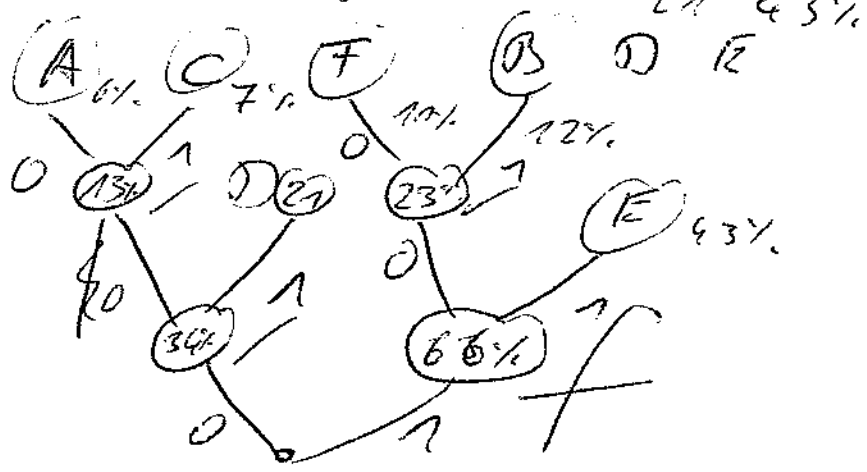
4
Lösung stand auf dem Deckblatt

Aufgabe:

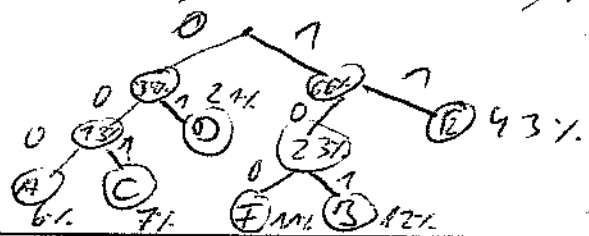
1c)

Sortierung:

8/10



$\Rightarrow A = 000; C = 001; D = 01;$
 $F = 100; B = 101; E = 11$



Aufgabe:

d) e)

d)

noch
5/5

$$H = 0,06 \cdot 3 + 0,07 \cdot 3 + 0,11 \cdot 3 + 0,12 \cdot 3 + (0,21 + 0,43) \cdot 2$$

$$= 1,08 + 1,28 = 2,36 \text{ Bit/Zeichen}$$

\Rightarrow Für 200 Zeichen:

$$2,36 \text{ Bit/Zeichen} \cdot 200 = 472 \text{ Bit}$$

Man braucht 472 Bit

noch
4/4

e) 1 Physikalischer Bit gibt einen an / aus Zustand an. Bei der Informations-theorie ist dem Bit eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet.

Wach mit: 480

24)

Aufgabe:

Cake: 000 204 01

last nur an die Trenzeit

Das wird verändert und vergrößert
Bid, so stellt man fest, dass die

diese Kombination aus einer Val-

uation ist? und also die

Bundshabe zugewandt ist.

=> Man fragt nach in der Umwelt an
und geht selber bis man einen

best. Bundshaben hat. Man kann nicht

Bsp: 3d. sehr 0, 1, 2, 3 Da ist kein
Bundshabe, man muss einen wählen (nicht)

Aufgabe: 2a)

$$F_T = F_1 + \frac{F_2 - 1}{V_2}$$

$$F_1 = 0,8 dB = 1,2023$$

$$F_2 = \frac{1}{2} = 0,5 dB = 10,000$$

$$V_T = 40 dB = 10,000$$

$$F_T = 1,2034 + \frac{10,000}{10,000 - 1}$$

$$V_T = 40 dB - 40 dB = 0 dB = 1$$

Aufgabe: 2b)

$$b_{R2} \approx SNR_A \approx 30 \text{ dB} = 1000$$

$$\Rightarrow SNR_{R2} \approx F_{dB} + SNR_{A,dB}$$

$$\Rightarrow F \cdot SNR_A \approx SNR_{A1}$$

$$SNR_{A1} \approx 1203,4$$

$$SNR_{A1,dB} \approx 30,8047 \text{ dB}$$

$$SNR_{u1} = SNR_{A1} \cdot F_T \approx 1203,4 \cdot 1,2034$$

$$\approx 1448,1716 \text{ #}$$

$$\Rightarrow SNR_{u1,dB} \approx 31,6082 \text{ dB} //$$

Aufgabe: 2c)

$$F_{ges} = \left(4 + \frac{F_T - 1}{0,25} + \sqrt{\frac{F_T - 1}{0,25 \cdot 1}} \right)$$

$$= 4 + \frac{1,2034}{0,25} + \frac{0,2034}{0,25 \cdot 1}$$

$$F_{ges} \approx 5,6272 //$$

Aufgabe: 2c)

Aufgabe: 2d)

$$P_{S,1} = SNR_e$$

$$P_{N,1} \quad \downarrow f$$

$$P_{S,1} = 1448,1716 \cdot P_N$$

$$P_{S,1} = 1448,1716 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{290K \cdot 10^4 Hz}{u}$$

$$P_{S,1} = 5,7956 \cdot 10^{-12} \text{ W} \quad \underbrace{\quad}_{4 \cdot 10^{-15} \text{ W}}$$

$$P_{S,1} = 5,7956 \text{ pW} \quad \text{Tippfehler J.R.}$$

Die Spzquelle muss 5,7956 pW
Signalleistung liefern.

$$P_g = ?$$

Aufgabe: 2e):

$$u_1 = \sqrt{P_S \cdot R} = 1,70229 \cdot 10^{-5} \text{ V}$$

$$u_1 \approx 17,023 \mu\text{V} \quad \#$$

⇒ u_{g1} wegen der Spzquelle

$$2 \cdot u_1 = 34,046 \mu\text{V}$$

Aufgabe: 2f)

Das ist die Statische Verstärkung zwischen U_S und U_H ,
 $F_{ges} = 4 + N \cdot \frac{F_T - 1}{0,25}$ $U_S \rightarrow U_H$
 war gefragt

es geht direkt aus Aufgabe 2c hervor.

noch 2/3

← Grundidee der

Aufgabe: 2g)

$$F_{ges} = 4 + \frac{F_0 - 1}{0,25} + (N - \frac{F_T - 1}{0,25 \cdot v_0})$$

Für lange Längen sollte man zwischen den inneren wieder Verstärker einbauen um die Lastverluste auszugleichen. (soll dann $v_0 \approx 0$)
 Zusätzlich sollte ein v_0 verstellbar verwendet werden
 Für den hier gilt: $v_0 \gg 4$

→ Die Rauschzahl wird noch geringer.

noch 4/5

Aufgabe: 3a)

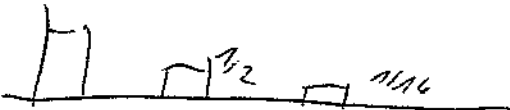
Laufdauer für einen Puls: $4 \cdot 10^{-8}$ s

Länge: 40 m ; hin und zurück = 80 m

$$3/3 \Rightarrow v_{ph} = \frac{80 \text{ m}}{4 \cdot 10^{-8} \text{ s}} = 195,122 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$k = \frac{v_{ph}}{c_0} = 0,6504$$

Aufgabe: 3b)c)



$$I_L = \frac{1}{2} I; I_g = \frac{1}{4}$$

 $\Rightarrow 1 \text{ hin}; \frac{1}{2} \text{ zurück}; \frac{1}{8} \text{ wieder hin}$
 $\frac{1}{16} \text{ zurück}$

$$I_L = \frac{R_L - Z_0}{R_L + Z_0} = \frac{1}{2} = \frac{R_L - 50 \Omega}{R_L + 50 \Omega}$$

$$\Rightarrow R_L + 50 \Omega = 2R_L - 100 \Omega$$

$$R_L = 150 \Omega$$

$$P_L = \frac{P_1 - Z_0}{R_2 + Z_0} = \frac{1}{4} \Rightarrow \frac{R_1 + 50 \Omega}{250 \Omega} = \frac{R_2 - 200 \Omega}{250 \Omega + 2R_2}$$

$$\frac{Z_0 \cdot R_1}{R_1 + Z_0} = \frac{200 \cdot 424 \Omega}{150 + 5R_1} = \frac{R_2 + 50}{R_2 + 200} \Rightarrow R_1 = 30 \Omega$$

Wert nicht nötig

Aufgabe: 3b/c)

$$P_E = \frac{Z_0 - R_1}{Z_0 + R_1} = \frac{1}{4} = \frac{50 - R_1}{50 + R_1} \quad (\text{S.E.})$$

$$\Rightarrow 50 + R_1 = 200 - 4R_1$$

$$\underline{\underline{R_1 = 30 \Omega}}$$

Aufgabe: 3d)

$$R_C = 125 \Omega; R_A = 100 \Omega$$

$$V_{PL} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

$$\Rightarrow 4 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \frac{1}{L'C'} \Rightarrow L' = 4 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot C'$$

$$Z_0 = 50 \Omega = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot C'}{C'}}$$

$$50 \Omega = \sqrt{4 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot C'}$$

$$C' = \sqrt{\frac{1}{4 \cdot 10^{16} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 2500 \frac{\text{V}^2}{\text{A}^2}}} = 1 \cdot 10^{-10} \frac{\text{As}}{\text{m}}$$

$$C' = 0,1 \text{ nF/m} \Rightarrow L' = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\underline{\underline{L' = 250 \text{ nH/m}}}$$

1190
4/4