(1)

Prof. Dr.-Ing. J. Vollmer
Hochschule für
Angewandte Wissenschaften Hamburg
Department für Informations- und Elektrotechnik

Name: Aldag
Vorname: Mario
Matr.-Nr.:
Anzahl der abgegebenen Blätter:

Klausur: Grundlagen der Nachrichtentechnik (E4)

vom 13. Juli 2009

Lösungen ohne Herleitungen und die korrekte Angabe der Einheiten erhalten nur eine verringerte Punktzahl. Reine Ja/Nein Antworten erhalten Null Punkte.

	Punkte in Unteraufgaben		Erreichte Punkte	Maximal (+ ZP)
Aufgabe 1	2+4+6+3+3 (+4)		2+4+6+2+3 (+1)	18 (+4)
Aufgabe 2	6+4+4 (+4)		3+4+0(+4)	14 (+4)
Aufgabe 3	6+6+4+8 (+6)		4+6+4+6 (+2)	24 (+4)
Aufgabe 4	12+6 (+6)		9+5 (+5)	18 (+6)
Aufgabe 5	4+2+6+4 (+8)		4+2+6+4 (+3+3)	16 (+8)
Bewertung:	1,5	**Summe:**	~~8~~ 34	**90 (+26)**

Kleine Formelsammlung:

Schwach gedämpft ~~Verlustfreie~~ Leitung, Länge l		Trigonometrie und Euler	
$\alpha' = \dfrac{R'}{2\sqrt{L'/C'}}$	$v_{ph} = \dfrac{1}{\sqrt{L'C'}}$	$\cos(x)\cdot\cos(y) = [\cos(x+y)+\cos(x-y)]/2$ $\cos(x) = (e^{jx}+e^{-jx})/2$	
$c_0 \approx 3\cdot 10^8\ m/s$	$k = v_{ph}/c_0$	**Fourier-Transformation**	
$Z_E = Z_W \dfrac{Z_2 + Z_W \cdot \tanh(\gamma l)}{Z_2\cdot\tanh(\gamma l)+Z_W}$	$\lvert Z_W\rvert = \sqrt{\dfrac{L'}{C'}}$	$x(t)e^{j2\pi f_0 t} \leftrightarrow X(f-f_0)$	$e^{j2\pi f_0 t} \leftrightarrow \delta(f-f_0)$

Rauschen und Rauschzahl	Informationstheorie, diskrete Nachrichtenquellen mit N verschiedenen Zeichen	
Rauschzahl $F = \dfrac{SNR_{Eingang}}{SNR_{Ausgang}}$ **Verfügbare Rauschleistung (thermisch)** $P = k\cdot B\cdot T$ Boltzmannkonstante $k: = 1{,}38\ 10^{-23}$ Watt·s / K B: Bandbreite in Hertz, T: Temperatur in Kelvin	**Informationsgehalt eines Zeichen x** $I_x = -ld(p_x)$ Bit pro Zeichen **Entropie, mittlerer Informationsgehalt** $H = -\sum_{n=1}^{N} p_n \cdot ld(p_n)$ Bit pro Zeichen **Mittlere Anzahl von Bits zur Codierung** $\overline{N} = \sum_{n=1}^{N} p_n \cdot \text{Codelänge}(n)$ Bit pro Zeichen	
Gesamtrauschzahl bei Reihenschaltung $F_{Gesamt} = F_1 + \dfrac{F_2 - 1}{v_1} + \dfrac{F_3 - 1}{v_1 \cdot v_2} + \ldots$	**Maximale Entropie** $H_{max} = ld(N)$ Bit pro Zeichen	**Redundanz** $R = H_{max} - H$ Bit pro Zeichen

Aufgabe 1 Huffman Codierung (18+4 Punkte)

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

Zeichen	A	B
p_i	0,3	0,7

Der Zeichensatz hat eine Entropie H = 0.88129 Bit pro Zeichen, ein zugehöriger Huffman Codesatz erfordert im Mittel $\overline{N}$ = 1 Bit pro Zeichen (Nullen und Einsen) zur Übertragung.

Geben Sie im Folgenden immer die Einheiten mit an.

a) Wie viele Bits sind zur Übertragung von 1000 Zeichen im Mittel notwendig? (2 Punkte)

b) Zur Verbesserung der Codierung sollen nun folgende, teilweise zusammengesetzte, Zeichen codiert werden. Vervollständigen Sie die Tabelle. Testen Sie, ob die Summe der Wahrscheinlichkeiten 1 ist. Die Zeichenabfolgen von A und B sind nicht ~~un~~korreliert. (4 Punkte)

Zeichen	AA	AB	BA	BB
p_i	0,09	0,21	0,21	0,47 0,49

c) Bestimmen Sie einen Satz von Huffman Codes für den neuen Zeichensatz. Geben Sie die Codes explizit an. (6 Punkte)

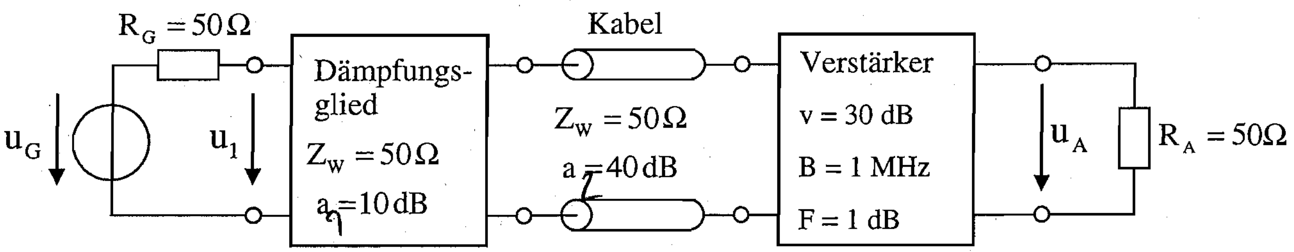
d) Berechnen Sie $\overline{N}$, d.h. die im Mittel erforderliche Anzahl von Bits zur Codierung Übertragung eines der „neuen“ Zeichens. (4 Punkte)

? e) Wie viele Bit sind im Mittel zur Übertragung von 1000 „alten“ Zeichen (A, B, ~~C~~) Bit mit den neuen Codes notwendig? (2 Punkte)

Beachten Sie, dass Sie zusammengesetzte Zeichen codiert haben (siehe zweite Tabelle).

f) **Zusatzfrage**: Begründen Sie, warum die neuen Codes effizienter sind. (4 Punkte)

Aufgabe 2 Übertragungssystem (14+4 Punkte)



Ein Signal $u_G(t)$ von 1 MHz Bandbreite wird über das obige System übertragen. Die Ein- und Ausgangsimpedanz des Verstärkers ist jeweils $50\,\Omega$. Die Temperatur des gesamten Systems beträgt T = 300 Kelvin. Die von der Spannungsquelle $u_G(t)$ abgegebene Leistung beträgt 100 W und $u_G(t)$ ist, bis auf das thermische Rauschen, fehlerfrei.

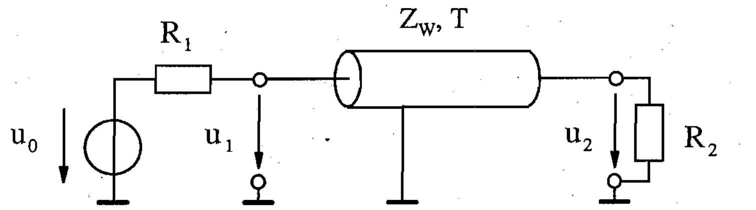
a) Berechnen Sie die Rauschzahl F_S und den Verstärkungsfaktor v_S des Systems mit Eingangsspannung $u_1(t)$ und der Ausgangsspannung $u_A(t)$. (6 Punkte)

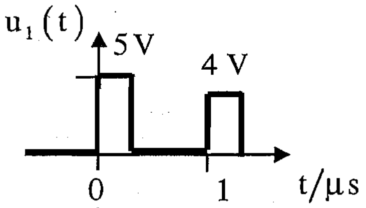
b) Wie groß ist das SNR des Signals $u_1(t)$ in dB? (4 Punkte)

c) Bestimmen Sie den Effektivwert der Spannung $u_A(t)$. (4 Punkte)

d) **Zusatzaufgabe:** Ist die Reihenfolge der Teilkomponenten typisch und sinnvoll für ein Nachrichtenübertragungssystem? Begründen Sie Ihre Antwort. (4 Punkte)
Die Aufgabe ist ohne die vorherigen Unterpunkte lösbar.

Aufgabe 3: Leitung (24+8 Punkte)





Auf eine schwach gedämpfte Leitung mit Verkürzungsfaktor k = $2/3$ wird zum Zeitpunkt t = 0 vom Generator ein Spannungspuls der Größe $\hat{u}_0$ = 8 V für die der Dauer 200ns abgegeben. Die Spannung am Leitungseingang ist bis zum Zeitpunkt $t = 1{,}2\ \mu s$ im Bild angegeben. Der Dämpfungsbelag ist $\alpha = 10^{-3}\,1/m$ und der Betrag des Wellenwiderstandes $|Z_W| = 50\,\Omega$.

Geben Sie immer die Einheiten der Ergebnisse an.

a) Berechnen Sie die Leitungslänge l, die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_{ph} und den Dämpfungsfaktor A_L. (6 Punkte)

b) Bestimmen Sie die Leitungsbeläge R', L' und C'. (6 Punkte)

Vernachlässigen Sie bei den folgenden Rechnungen die Phase von Z_W.

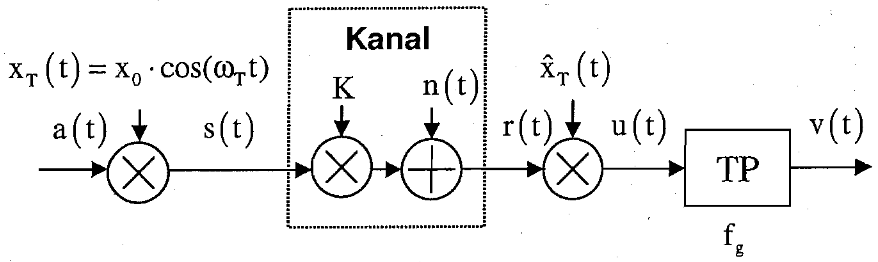
c) Berechnen Sie den Generatorwiderstand R_1. (4 Punkte)

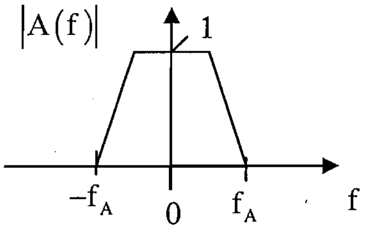
d) Bestimmen Sie den Reflexionsfaktor ρ_2 am Leitungsende. (8 Punkte)
Hinweis: Die Verwendung des Latticediagramms ist hilfreich zur Veranschaulichung.

Zusatzaufgabe, allgemeine Frage zu schwach gedämpften Leitungen:

e) Bei einer schwach gedämpften Leitung wird am Generator eine Spannung u_0 permanent eingeschaltet. Erklären Sie, wie man die Spannung $u_{1\infty} = u_1(t \to \infty)$ und $u_{2\infty} = u_2(t \to \infty)$ berechnen kann. Geben Sie alle notwendigen Gleichungen an. Einsetzen und Umformungen sind nicht gefordert. (6 Punkte)

Aufgabe 4 Modulation (18+6 Punkte)





Betrachten Sie das Übertragungssystem. Das zu übertragene Tiefpasssignal $a(t)$ der Bandbreite f_A wird auf die Trägerfrequenz $f_T = \omega_T/(2\pi) = 1\,\text{GHz}$ hochgemischt. Die Konstante x_0 hat die Einheit 1 und $K = 10^{-4}$. Das empfangene Signal $r(t)$ wird mit dem geschätzten Trägersignal $\hat{x}_T(t) = \hat{x}_0 \cdot \cos(\omega_T t + \hat{\varphi})$ heruntergemischt. Der Tiefpass TP ist ideal mit Grenzfrequenz f_g und der Erwartungswert der Rauschleistungsdichte ist $|S_{nn}(f)| = \sigma^2$. Das Rauschen ist unkorreliert.

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

Beschreiben Sie die zu skizzierenden Spektren immer in Abhängigkeit des Sendespektrums $|A(f)|$. Alle Achsen und Signale vollständig zu beschriften.

a) Skizzen Sie $|R(f)|$, $|U(f)|$ und $|V(f)|$ für $f_g = f_A$ und $\hat{x}_T(t) = x_T(t)$. (12 Punkte)

Beachten Sie, dass für das Rauschen die erwartete Rauschleistungsdichte bekannt ist.

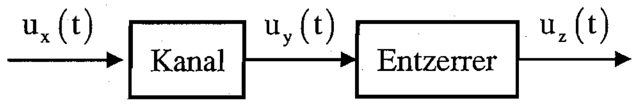
Nun soll eine (im Bild nicht mit einbezogene) reale Signallaufzeit durch den Kanal von $T = \sqrt{90}\,\mu s$ berücksichtigt werden.

b) Bestimmen Sie das kleinste $\hat{\varphi}$, für dass das SNR des Signals $v(t)$ maximal wird. (6 Punkte)

c) **Zusatzfrage:** Wie beschreibt man im Zeitbereich die Verzögerung im Kanal, wie im Frequenzbereich? Was folgt daraus für die Skizzen aus a), wenn $\hat{x}_T(t)$ ideal wäre und T berücksichtigt würde? (6 Punkte)

Aufgabe 5 Transversalfilter (16+8 Punkte)

Ein Datensignal $u_x(t)$ soll über einen Kanal übertragen werden. Dadurch tritt Intersymbolinterferenz (ISI) auf. Diese soll durch einen Entzerrer (Transversalfilter) verringert werden.



Das Datensignal $u_x(t)=\sum_k d_k \cdot p(t-kT_S)$ ist eine Summe aus, mit den Datensymbolen d_k gewichteten, Rechteckpulsen $p(t)=\hat{p}\cdot \mathrm{rect}([t-0{,}5T_S]/T_S)$ mit $T_S=1\mu s$ und $\hat{p}=10\,V$.

Das Transversalfilter wird beschrieben durch $u_z(t)=\sum_{m=0}^{M} c_m \cdot u_y(t-mT_S)$.

Die Systemantwort des Kanals auf den Spannungspuls $p(t)$ ist gegeben durch:

$$h_p(t)=0{,}5\cdot\hat{p}\cdot\begin{cases} t/T & \text{für} \quad 0\le t\le T \\ \left(\dfrac{t-5T}{4T}\right)^2 & \text{für} \quad T<t\le 5T \\ 0 & \text{sonst}\end{cases} \qquad \text{mit } T=0{,}75\mu s.$$

a) Skizzen Sie $h_p(t)$. Beschriften Sie die Achsen vollständig. (4 Punkte)

Die Abtastzeitpunkte nach dem Transversalfilter sind durch $t=t_m=m\cdot T_S+t_0$ **definiert.**

b) Wählen Sie t_0 so, dass die Amplitude bei der Abtastung maximal wird. (2 Punkte)
Hinweis: Im Augendiagramm würde das maximale Augenhöhe bedeuten.

c) Bestimmen Sie $h_p(t_m)$ für $m=1,2,3$. (6 Punkte)

d) Bestimmen Sie die Koeffizienten c_k für $k=1,2$. Es gilt $c_0=1$. (4 Punkte)
Verwenden Sie: $c_k=\left[\sum_{i=0}^{k-1} c_i \cdot h_p\left(t_{k-i+1}\right)\right] \Big/ h_p(t_1)$

e) **Zusatzaufgabe:** Ist es prinzipiell möglich mit einem realen Transversalfilter die Intersymbolinterferenz völlig zu eliminieren? (3 Punkte)

f) **Zusatzaufgabe:** Wie kann $h_p(t)$ aus der Impulsantwort des Kanals $h_K(t)$ berechnet werden? Es geht um die Gleichungen, eine explizite Berechnung ist nicht gefordert. (5 Punkte)

Klausur: GN **Datum:** 13.07.09

Name: Aldag **Vorname:** Mario **Matr.-Nr.:** 1896932

Aufgabe: 1

2/2 a) ~~Tm~~ $T = 1000 \,\cancel{\text{Zeichen}} \cdot 0{,}88129 \frac{\text{Bit}}{\cancel{\text{Zeichen}}} = \underline{881{,}29 \text{ Bit}}$ ✓

noch 4/4 b)

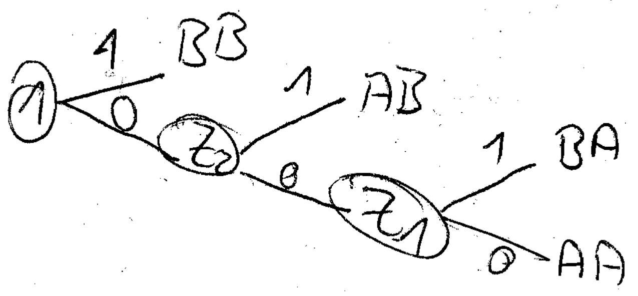
$$\left.\begin{array}{l} \text{"AA"} = 0{,}3 \cdot 0{,}3 = 0{,}09 \\ \text{"AB"} = 0{,}3 \cdot 0{,}7 = 0{,}21 \\ \text{"BA"} = \text{"AB"} = 0{,}21 \\ \text{"BB"} = 0{,}7 \cdot 0{,}7 = \underline{0{,}49} \end{array}\right\} \Sigma = \cancel{0{,}98}\ \underline{1}$$ ✓

↑ siehe Text ✓ ↖ anders als in Tabelle

Aufgabe: 1 c

6/6

BB	0,49	0,49 BB	BB } 1	
AB	0,21	0,2 = Z_1 } Z_2	Z_2 }	
BA	0,21 } Z_1	0,3 AB }		
AA	0,09 }			



BB = 1	✓
AB = 01	✓
BA = 001	✓
AA = 000	✓

Aufgabe: 1d

2/3 $\overline{N} = \sum_{n=1}^{N} p_n \cdot \text{Codelänge}(n)$ nach Huffman

f/s.o.

$= 0{,}47 \cdot 1\frac{\text{Bit}}{\text{Zeichenkette}} + 0{,}21 \cdot 2\frac{\text{Bit}}{\text{Zeichenkette}} + 0{,}21 \cdot 3\frac{\text{Bit}}{\text{Zeichenkette}} + 0{,}09 \cdot 3\frac{\text{Bit}}{\text{Zeichenkette}}$

$\overline{N} = 1{,}79 \frac{\text{Bit}}{\text{Zeichenkette}}$

noch e) $T = 1000 \text{ Zeichen} \cdot 1{,}79 \frac{\text{Bit}}{\text{Zeichenkette}}$ 1 Zeichenkette entspricht 2 Zeichen

3/3 $T = 1000 \cdot 1{,}79 \frac{\text{Bit}}{2\,\text{Zeichen}}$

$T = 895\,\text{Bit}$

Aufgabe: 1f

1/4 Durch die Huffmancodierung wird der Informationsgehalt der Nachricht erhöht. Da 2 Zeichen im Mittel mit weniger als 2 Bit übertragen werden, steigt die Effizienz.

Aufgabe: 2 a)

nach

3/16

a) $F_{ges} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{V_{p1}} + \frac{F_3 - 1}{V_{p1} V_{p2}}$

$\frac{F_1}{dB} = 10 \Rightarrow F_1 = 10^1 = 10$ ✓ $\frac{V_{p1}}{dB} = -\frac{a}{dB} = -10$ ✓ f

$V_{p1} = -10$ f

$\frac{F_2}{dB} = 40 \Rightarrow F_2 = 10^4$ ✓ $V_{p2} = -10^4$ f

$\frac{F_3}{dB} = 1 \Rightarrow F_3 = 10^{\frac{1}{10}} = 1{,}259$ ✓ $\frac{V_{p3}}{dB} = 30\,dB$

$V_{p3} \Rightarrow 10^3$ ✓

$F_{ges} = 10 + \frac{10^4 - 1}{(-10)} + \frac{1{,}259 - 1}{(-10) \cdot (-10^4)} = -989$, $V_{ges} = ?$

Unsinn

nicht in dB

Aufgabe: 2 b)

4/4

$SNR_1 = \frac{P_{S1}}{P_{r1}} = \frac{\cancel{100\,W}\ 50}{k \cdot B \cdot T} = \frac{\cancel{100\,W}\ 50}{4{,}14 \cdot 10^{-15}\,W} = \cancel{2{,}415}\ 1{,}207 \cdot 10^{16}$ ✓

$\frac{SNR_1}{dB} = 10 \log(SNR_1) = \underline{160{,}82}$

0/4 c) $\frac{SNR_2}{dB} = \frac{SNR_1}{dB} - \frac{a_1}{dB} - \frac{a_2}{dB} + \frac{V}{dB}$ f

4/4 d) Normalerweise würde man zuerst einen rauscharmen, leistungsstarken Verstärker einbauen, dann wird das System optimiert, da bei Kettenschaltungen das 1. Glied das Wichtigste ist. ✓

Aufgabe: 3

a) $k = \frac{2}{3}$; $k = \frac{V_P}{c_0} \Rightarrow V_P = k \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s} = \underline{\underline{2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}}$

4/6 $T = 0{,}5\mu s$ saus Bild

$l = V_P \cdot T = 2 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \cdot 0{,}5 \mu s = \underline{\underline{100 m}}$

$A_L = \alpha \cdot l = 10^{-3} \frac{1}{m} \cdot 100 m = \underline{\underline{0{,}1}}$

6/6 b) $|Z_W| = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \wedge \alpha = \frac{R'}{2\sqrt{\frac{L'}{C'}}}$

$\Rightarrow \underline{\underline{R'}} = 2\alpha \cdot |Z_W| = 2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{m} \cdot 50 \Omega = \underline{\underline{0{,}1 \frac{\Omega}{m}}}$

$Z_W^2 = \frac{L'}{C'} \Rightarrow C' = \frac{L'}{Z_W^2}$; $\alpha^2 = \frac{R'^2}{4 \frac{L'}{C'}} \Rightarrow C' = \frac{R'^2}{4 L' \alpha^2}$

$\frac{R'^2}{4 L' \alpha^2} = \frac{L'}{Z_W^2} \Rightarrow L'^2 = \frac{R'^2 \cdot Z_W^2}{4} \Rightarrow L' = \frac{R' \cdot |Z_W|}{2}$

$L' = 2{,}5 \frac{\Omega^2}{m}$

Aufgabe: 3b forts.

$|Z_W|^2 = \frac{L'}{C'} \Rightarrow C' = \frac{L'}{|Z_W|^2}$; $\alpha^2 = \frac{R'^2 C'}{4 L'} \Rightarrow C' = \frac{4 L' \alpha^2}{R'^2}$

$\frac{L'}{|Z_W|^2} = \frac{4 \cdot L' \cdot \alpha^2}{R'^2}$

$|Z_W|^2 = \frac{L'}{C'}$; $V_P = \frac{1}{\sqrt{L' C'}} \Rightarrow L' = \frac{1}{V_P^2 C'}$

$L' = C' \cdot |Z_W|^2$

$C' \cdot |Z_W|^2 = \frac{1}{V_P^2 \cdot C'}$

$C' = \frac{1}{V_P \cdot |Z_W|} = 1 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\frac{m}{s} \cdot \Omega} = \underline{0{,}1 \frac{nF}{m}}$

$L' = \frac{1}{V_P^2 C'} = 2{,}5 \cdot 10^{-7} \frac{H}{m} = \underline{\underline{0{,}25 \mu \frac{H}{m}}}$

Aufgabe: 3C

im Startpunkt

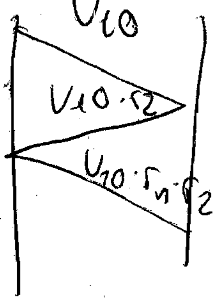
4/4 R_1 $\cancel{\frac{R_1}{Z_w+R_1}} = \frac{Z_w}{R_1+Z_w} = \frac{U_1}{U_0}$

$\Rightarrow U_0 \cdot Z_w = R_1 U_1 + Z_w U_1$

$\frac{Z_w(U_0-U_1)}{U_1} = R_1$

$R_1 = \frac{50\Omega(8V-5V)}{5V} = \underline{30\Omega}$

d) $r_1 = \frac{Z_1 - Z_w}{Z_1+Z_w} = \frac{-20\Omega}{80\Omega} = -\frac{1}{4}$ $4V = U_{12}$



6/8 $U_{12} = 4V = U_{10} \cdot r_2 + U_{10} \cdot r_2 \cdot r_1$

$r_2 = \frac{4V}{U_{10} + U_{10} \cdot r_1} = \frac{4V}{5V + 5V \cdot (-\frac{1}{4})} = \frac{16}{15}$

Grundidee o.k.

Aufgabe: 3c fort

$r_2 = \frac{16}{15}$

$r_2 = \frac{Z_2 - Z_w}{Z_2 + Z_w} \Rightarrow r_2 \cdot Z_2 + r_2 \cdot Z_w = Z_2 - Z_w$

$r_2 Z_w + Z_w = Z_2 - r_2 Z_2$

$Z_2 = \frac{Z_w(r_2+1)}{(1-r_2)} = \underline{-1550\Omega}$

Aufgabe: 3e

2/6

Wenn ein System dauerhaft mit einer Eingangsspannung versorgt wird, schwingt das System ein. Dann ist der Wellenwiderstand zu vernachlässigen (für ~~t~~ $t \to \infty$)

$$U_{1\infty} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot \hat{U}_e = U_{2\infty}$$

Die Spannungen $U_{1\infty}$ und $U_{2\infty}$ sind gleichgroß, da der Wellenwiderstand vernachlässigt worden kann.

gilt so nur für die verlustfreie Leitung ?

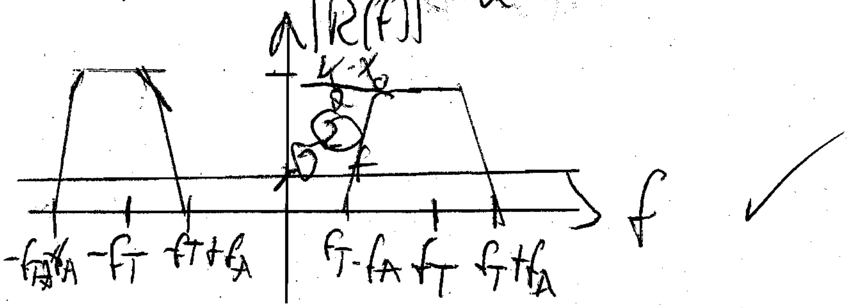
Aufgabe: (4) a)

noch 9/12

$$r(t) = a(t) \cdot x_T(t) \cdot k + n(t)$$

$$|R(f)| = \left[|A(f)| * \left[X_0 \cdot \frac{1}{2}\left(\delta[f+f_T] + \delta(f-f_T)\right)\right] \right] \cdot k + |S_{nn}(f)|$$

$$|R(f)| = \frac{k \cdot X_0}{2} \left[|A(f+f_T)| + |A(f-f_T)| \right] + |S_{nn}(f)|$$



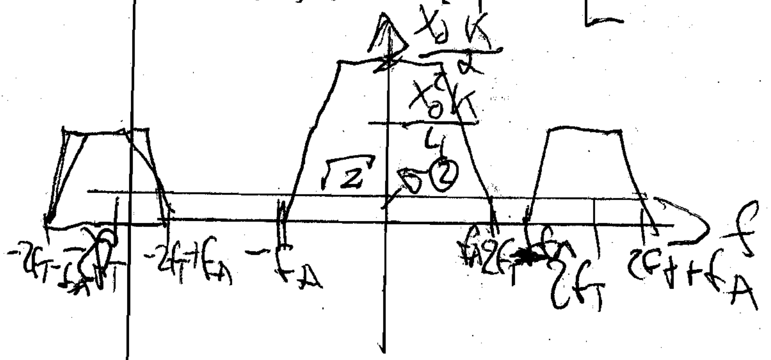
✓

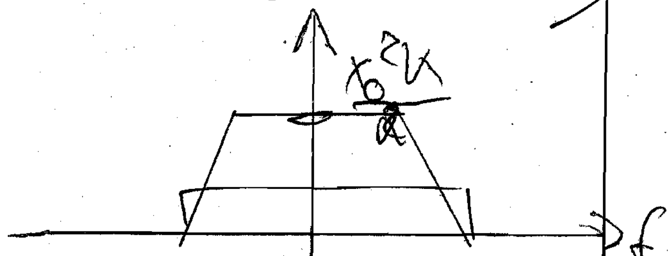
Aufgabe: 4a fort

$$|U(f)| = |R(f)| * \hat{X}_T(f) = \left[\frac{x_0 K}{2}\left[|A(f+f_T)| + |A(f-f_T)|\right] + S_{nn}(f)\right]$$
$$* \left[\frac{x_0}{2}\left[\delta(f+f_T) + \delta(f-f_T)\right]\right]$$

$$|U(f)| = \frac{x_0^2 K}{4}\left[|A(f+2f_T)| + |A(f-2f_T)| + 2\,|A(f)|\right]$$

$$|V(f)| = \frac{x_0^2 K}{2}|A(f)|$$





+ Rauschhöhe nicht beschriftet →

Aufgabe: 4b

für Ausgangssignal nur Multiplikation der cos()-Terme interessant.

$$\cos(\omega_T t) \cdot \cos(\omega_T t + \varphi) = \frac{1}{2}\left(\cos(\omega_T t + \omega_T t + \varphi) + \cos(\omega_T t - \omega_T t - \varphi)\right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[\cos(2\omega_T t + \varphi) + \cos(-\varphi)\right]$$

Aufgabe 4b

b) 5/6

$f_T = 1\,\text{GHz} \leftrightarrow f,\ 1\,\text{ns}$

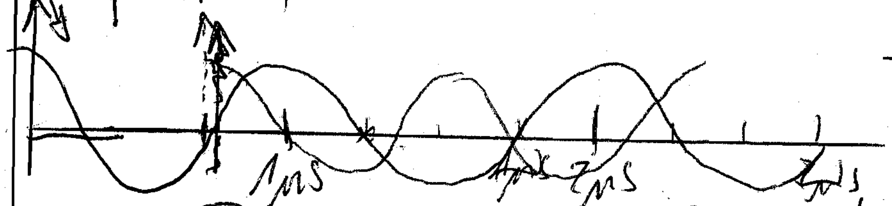
Periodendauer $T_T = 1\,\mu s$ Laufzeit $3\sqrt{10}\,\mu s$

entspricht Phasendrehung von $\varphi = \cancel{3{,}47}\ \cancel{1\mu s}\ \frac{360°}{1\,\mu s} \cdot 3\sqrt{10}\,\mu s$

$\varphi = 3415{,}2599°$; auf Einheitskreis gerechnet:

Träger $\varphi = 175{,}2599°$

Problem verstanden



Wenn Träger selbst eine Phasendrehung von 175,2599° erfährt, sind die beiden wieder in Phase und das SNR wird maximal, da dann die Signalamplitude maximal wird. Rauschen bleibt konstant.

Aufgabe: 4c

nach 5/6

Im Zeitbereich ist eine Verzögerung eine Laufzeit und man kann dies als Faltung mit einem um die Verzögerung verschobenen Dirac Impuls sehen.

o—[h(t)]—o Laufzeit

$h(t) = \delta(t - t_0)$

Im Frequenzbereich spricht man von der Gruppenlaufzeit des Systems. Dies ist Ableitung der Phase nach der Frequenz (−1).

$\frac{d\varphi}{df} = -T \cdot \quad \Big| \ \frac{1}{2\pi}$

(ideal)

Folgerungen ?

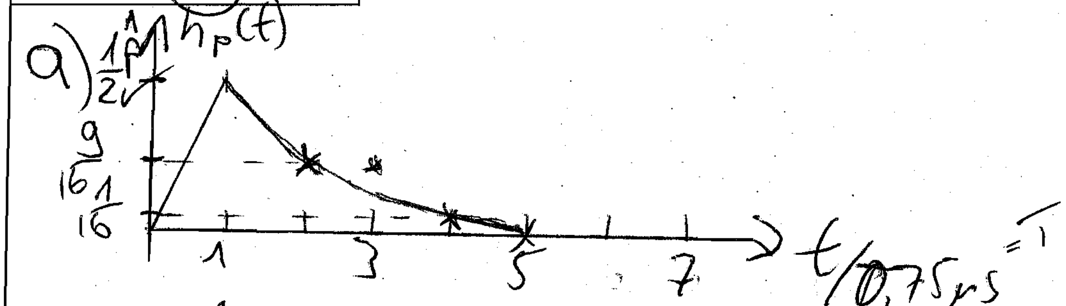
Aufgabe: 4c fort

$|R(f)|$ bleibt wie a)

Aufgabe: 5

4/4

a)



Maximal für $\frac{t}{0{,}75\mu s}$

$$h_p(t) = 0{,}5\hat{p} \cdot \left(\frac{t-5T}{4T}\right)^2 \quad T \leq t \leq 5T \quad T = 0{,}75\mu s$$

$t = t_m = m \cdot T_S + t_0$

$T_S = 1\mu s$

$$t = \frac{\;}{0{,}75\mu s} = m \cdot T_S + t_0$$

$\cancel{t = \frac{1}{0{,}75\mu s}}$ $\quad t = 0{,}75\mu s - T_S = t_0 \;; m=1$

$t_0 = -0{,}25\mu s$

Aufgabe: 5b

b) 2/2

$h_p(t_m)$ $m=1,2,3$

$t_m = m \cdot T_S + t_0$ $T_S = 1\mu s$ $t_0 = -0{,}25\mu s$ ✓

c) noch 6/6

$t_1 = 0{,}75\mu s \Rightarrow h_p(t_1) = 0{,}5\hat{p}$ ✓ mit $\hat{p} = 10V$

$t_2 = 1{,}75\mu s \Rightarrow h_p(t_2) = \frac{4\hat{p}}{18} = \frac{2\hat{p}}{9}$ ✓

$t_3 = 2{,}75\mu s \Rightarrow h_p(t_3) = \frac{\hat{p}}{2} \cdot \frac{1}{9} = \frac{\hat{p}}{18}$ ✓

d) 4/4

$c_k = -\left[\sum_{i=0}^{k-1} c_i \, h_p(t_{k-i+1})\right] / h_p(t_1)$

$c_1 = -\frac{c_0 \cdot h_p(t_2)}{h_p(t_1)} = \frac{\frac{2}{9}\hat{p}}{\frac{1}{2}\hat{p}} = -\frac{4}{9}$ ✓

$c_2 = -\frac{c_0 \cdot h_p(t_3) + c_1 \cdot h_p(t_2)}{h_p(t_1)} = \frac{\frac{\hat{p}}{18} + -\frac{4}{9} \cdot \frac{2}{9}\hat{p}}{\frac{1}{2}\hat{p}} = \frac{7}{81}$ ✓

Aufgabe: 5e

noch 3/3

Nein, aber es ~~ist möglich, diese so weit zu reduzieren, dass~~

eigentlich falsch, aber s.u.

Ja, eine gewisse Ordnungszahl und einen guten Abtastzeitpunkt vorausgesetzt. Dies kann sehr aufwendig sein, insbesondere wenn der maximale Anstieg der Impulsantwort zwischen einem Abtastschritt zu finden. Es gilt: $\max|\Delta h_p| = \max|h_p(t_0) - h_p(t_1)|$

Wenn dies gegeben ist, klingen die Koeffizienten des Filters schnell ab und der Filter ist mit annehmbarer Ordnungszahl realisierbar. Ein gewisses Stören bleibt zwar, aber im Ingenieurssinne kann man dann von 99% ISI-Freiheit sprechen.

Aufgabe: 5f

$h_p(t)$ ist Pulsantwort eines Rechtecksignals der Breite T_S. Wenn $\lim_{T_S \to 0}$ gebildet wird, wird aus dem Rechteck ein Dirac Impuls* und die Impulsantwort des Kanals kann bestimmt werden.

2/5

$$u_x(t) = \lim_{T_S \to 0} \sum_k \hat{p} \,\mathrm{rect}\left(\frac{t - 0{,}5\, T_S}{T_S}\right)$$

$$u_x(t) * h(t) = u_y(t)$$

nur wenn gleichzeitig $\hat{p} \to \infty$?

h_K sollte hier gegeben sein. $\to h_p$

Antwort der inversen Frage $h_p \to h_K$

Aufgabe: