

# 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  $\bar{N} = 1$  Bit pro Zeichen (Nullen und Einsen) zur Übertragung.

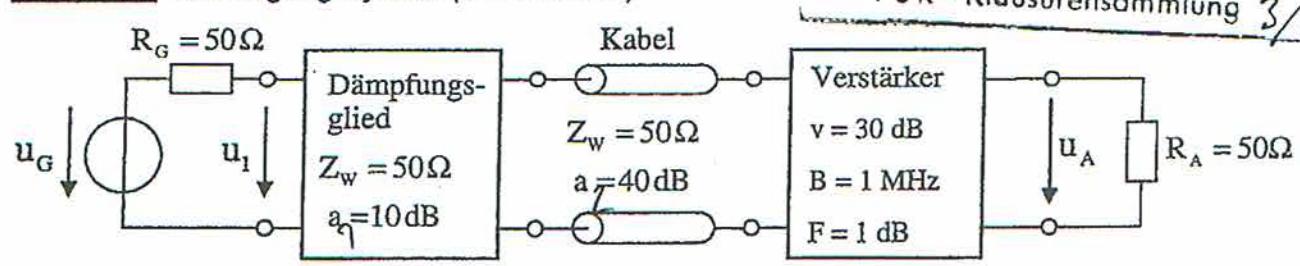
**Geben Sie im Folgenden immer die Einheiten mit an.**

- Wie viele Bits sind zur Übertragung von 1000 Zeichen im Mittel notwendig? (2 Punkte)
- 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	0,49

- Bestimmen Sie einen Satz von Huffman Codes für den neuen Zeichensatz. Geben Sie die Codes explizit an. (6 Punkte)
  - Berechnen Sie  $\bar{N}$ , d.h. die im Mittel erforderliche Anzahl von Bits zur Codierung Übertragung eines der „neuen“ Zeichens. (4 Punkte)
  - Wie viele Bit sind im Mittel zur Übertragung von 1000 „alten“ Zeichen (A, B, ~~Q~~) Bit mit den neuen Codes notwendig? (2 Punkte)
- Beachten Sie, dass Sie zusammengesetzte Zeichen codiert haben (siehe zweite Tabelle).*
- Zusatzfrage:** Begründen Sie, warum die neuen Codes effizienter sind. (4 Punkte)

## Aufgabe 2 Übertragungssystem (14+4 Punkte)

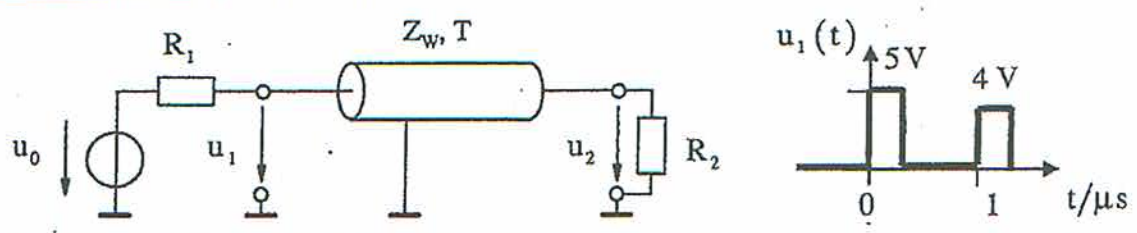


Ein Signal  $u_G(t)$  von 1 MHz Bandbreite wird über das obige System übertragen. Die Ein- und Ausgangsimpedanz des Verstärkers ist jeweils  $50 \Omega$ . Die Temperatur des gesamten Systems beträgt  $T = 300$  Kelvin. Die von der Spannungsquelle  $u_G(t)$  abgegebene Leistung beträgt  $100$  W und 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

- 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)
- Wie groß ist das SNR des Signals  $u_1(t)$  in dB? (4 Punkte)
- Bestimmen Sie den Effektivwert der Spannung  $u_A(t)$ . (4 Punkte)
- 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 Dauer  $200$  ns abgegeben. Die Spannung am Leitungseingang ist bis zum Zeitpunkt  $t = 1,2 \mu s$  im Bild angegeben. Der Dämpfungsbeleg ist  $\alpha = 10^{-3} \text{ 1/m}$  und der Betrag des Wellenwiderstandes  $|Z_w| = 50 \Omega$ .

Geben Sie immer die Einheiten der Ergebnisse an.

- Berechnen Sie die Leitungslänge  $l$ , die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v_{ph}$  und den Dämpfungsfaktor  $A_L$ . (6 Punkte)
- Bestimmen Sie die Leitungsbeläge  $R'$ ,  $L'$  und  $C'$ . (6 Punkte)

Vernachlässigen Sie bei den folgenden Rechnungen die Phase von  $Z_w$ .

- Berechnen Sie den Generatorwiderstand  $R_1$ . (4 Punkte)
- Bestimmen Sie den Reflexionsfaktor  $\rho_2$  am Leitungsende. (8 Punkte)

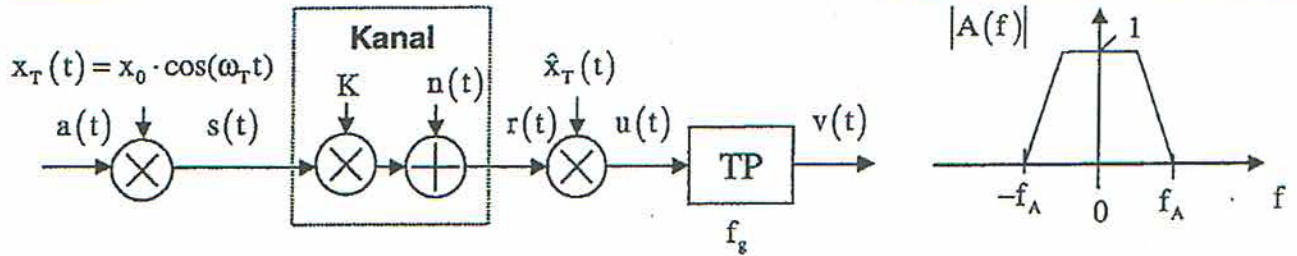
Hinweis: Die Verwendung des Latticediagramms ist hilfreich zur Veranschaulichung.

**Zusatzaufgabe, allgemeine Frage zu schwach gedämpften Leitungen:**

- Bei einer schwach gedämpften Leitung wird am Generator eine Spannung  $u_0$  permanent eingeschaltet. Erklären Sie, wie man die Spannung  $u_{1\infty} = u_1(t \rightarrow \infty)$  und  $u_{2\infty} = u_2(t \rightarrow \infty)$  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  $\hat{x}_T(t) = \hat{x}_0 \cdot \cos(\omega_T t + \hat{\phi})$  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:  $A(f) = \mathcal{F}\{a(t)\}$ .

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

a) Skizzieren 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.

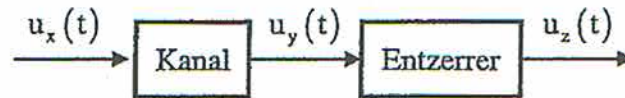
**Nun soll eine (im Bild nicht mit einbezogene) reale Signallaufzeit durch den Kanal von  $T = \sqrt{90} \mu\text{s}$  berücksichtigt werden.**

b) Bestimmen Sie das kleinste  $\hat{\phi}$ , 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  $p(t) = \hat{p} \cdot \text{rect}([t - 0,5T_s]/T_s)$  mit  $T_s = 1\mu\text{s}$  und  $\hat{p} = 10\text{V}$ .

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:

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

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

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: Abdug

Vorname: Klaro

Matr.-Nr.: [REDACTED]

Aufgabe: 1

2/2  
not  
4/4

a)  $T = 1000 \text{ "Zeichen"} \cdot 0,88129 \frac{\text{Bit}}{\text{Zeichen}} = 881,29 \text{ Bit}$

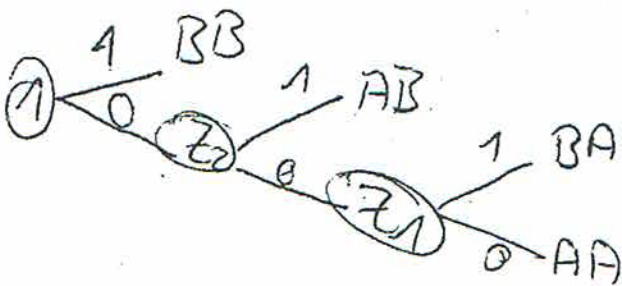
b)  $\left. \begin{array}{l} "AA" = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \\ "AB" = 0,3 \cdot 0,7 = 0,21 \\ "BA" = "AB" = 0,21 \\ "BB" = 0,7 \cdot 0,7 = 0,49 \end{array} \right\} \Sigma = 0,98$

↑ siehe Text ✓ ↖ anders als in Tabelle

Aufgabe: 1c

6/6

BB	0,49	0,49 BB	} 1
AB	0,21	0,21 AB	
BA	0,21	0,21 AB	
AA	0,09	0,09 AA	



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

Aufgabe: 1a

2/3

$$\bar{N} = \sum_{n=1}^N P_n \cdot \text{Codellänge}(n) \text{ nach Huffman}$$

~ f / s.o.

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

$$\bar{N} = 1,79 \text{ Bit}$$

Zeichenkette

no 2  
3/1

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

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

$T = 895 \text{ Bit}$

#

Aufgabe: 1b

1/4

Durch die Huffman Codierung wird der Informationsgehalt der Nachricht erhöht. Da 2 Zeichen im Mittel mit weniger als 2 Bit übertragen werden, steigt die Effizienz.



## Aufgabe 7a

$$a) \bar{F}_{ges} = \bar{F}_1 + \frac{\bar{F}_2 - 1}{V_{p1}} + \frac{\bar{F}_3 - 1}{V_{p1} V_{p2}}$$

$$\frac{\bar{F}_1}{dB} = 10 \Rightarrow \bar{F}_1 = 10^1 = 10$$

$$\frac{\bar{F}_2}{dB} = 40 \Rightarrow \bar{F}_2 = 10^4$$

$$\frac{\bar{F}_3}{dB} = 1 \Rightarrow \bar{F}_3 = 10^0 = 1,259$$

$$\frac{V_{p1}}{dB} = -\frac{a}{dB} = -10$$

$$V_{p1} = 10^f$$

$$V_{p2} = 10^4 f$$

$$\frac{V_{p3}}{dB} = 30 dB$$

$$V_{p3} = 10^3$$

$$\bar{F}_{ges} = 10 + \frac{10^4 - 1}{-10} + \frac{1,259 - 1}{(-10) \cdot (-10^4)} = 0,989$$

$$V_{ges} = 2$$

unsinn

nicht in dB

## Aufgabe 7b

$$SNR_1 = \frac{P_{s1}}{P_{r1}} = \frac{\frac{50}{1000} W}{k \cdot B \cdot T} = \frac{\frac{50}{1000} W}{4,14 \cdot 10^{-15} W} = 1,207 \cdot 10^{16}$$

$$\frac{SNR_1}{dB} = 10 \log(SNR_1) = 168,32$$

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

d) Normalerweise würde man zuerst einen rauscharmen, leistungsfähigen Verstärker einbauen, dann wird das System optimiert, da bei Kettenschaltungen das 1. Glied das wichtigste ist.

## Aufgabe: 3

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

$$T = 0,5 \mu s \text{ sans Bild}$$

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

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

$$b) |Z_w| = \sqrt{\frac{L'}{C'}} \quad \alpha = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L'}{C'}}$$

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

$$\begin{aligned} Z_w &= \frac{L'}{C'} \Rightarrow C' = \frac{L'}{R'^2} ; \alpha = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \Rightarrow C' = \frac{4 L' \alpha^2}{R'^2} \\ \frac{L'}{C'} &= \frac{L'}{R'^2} \Rightarrow L' = \frac{R'^2 \cdot |Z_w|^2}{4} \Rightarrow L' = \frac{2 \cdot 10^{-6} \Omega^2}{4} \\ L' &= 2,5 \frac{\Omega^2}{m} \end{aligned}$$

## Aufgabe: 3b) fortg.

$$|Z_w|^2 = \frac{L'}{C'} \Rightarrow C' = \frac{L'}{|Z_w|^2} ; \alpha = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{L'}{C'}} \Rightarrow C' = \frac{4 L' \alpha^2}{R'^2}$$

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

$$|Z_w|^2 = \frac{L'}{C'} ; v_p = \frac{1}{\sqrt{L' C'}} = L' = \frac{1}{v_p^2 C'}$$

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

$$C' \cdot |Z_w|^2 = \frac{1}{v_p^2 C'}$$

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

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



Aufgabe: 3C

im Startpunkt

$$R_1 \rightarrow \frac{Z_w}{R_1 + Z_w} = \frac{U_1}{U_0}$$

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

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

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

$$d) \tau_1 = \frac{Z_1 - Z_w}{Z_1 + Z_w} = \frac{-20 \Omega}{80 \Omega} = -\frac{1}{4}$$

$$4V = U_{12}$$

$$U_{12} = 4V = U_{10} \cdot \tau_2 + U_{10} \cdot \tau_2 \cdot \tau_1$$

$$\tau_2 = \frac{4V}{U_{10} + U_{10} \cdot \tau_1} = \frac{4V}{5V + 5V \cdot (-\frac{1}{4})} = \frac{16}{15}$$

Grundidee o.k.

Aufgabe: 3C f0 = 10

$$\tau_2 = \frac{16}{15}$$

$$\tau_2 = \frac{Z_2 - Z_w}{Z_2 + Z_w}$$

$$\Rightarrow \tau_2 \cdot Z_2 + \tau_2 \cdot Z_w = Z_2 - Z_w$$

$$\tau_2 Z_w + Z_w = Z_2 - \tau_2 Z_2$$

$$Z_2 = \frac{Z_w (\tau_2 + 1)}{(1 - \tau_2)} = -1550 \Omega$$

Aufgabe: 3e

2/6

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

$$U_{1\infty} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot U_e = U_{2\infty}$$

Die Spannungen  $U_{1\infty}$  und  $U_{2\infty}$  sind gleich groß, da der Wellenwiderstand vernachlässigt werden kann.

Gilt so nur für die verlustfreie Leitung!

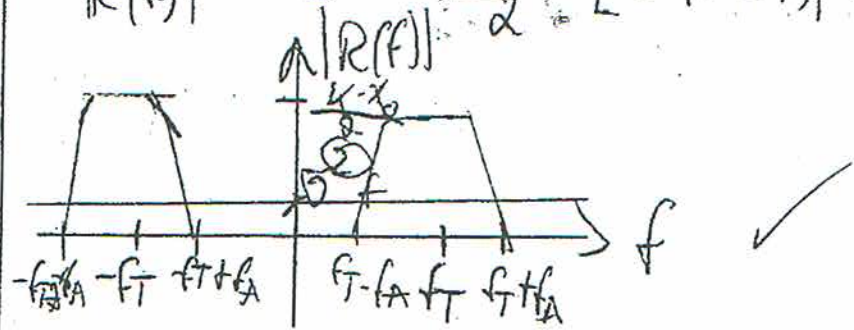
Aufgabe: 4 a)

noch  
g/m.

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

$$|R(f)| = \left[ |A(f)| \cdot \left[ x_0 \cdot \frac{1}{2} (S(f+f_T) + S(f-f_T)) \right] \cdot k + |S_{nn}(f)| \right]$$

$$|R(f)| = A \cdot \frac{k \cdot x_0}{2} [ |A(f+f_T)| + |A(f-f_T)| ] + |S_{nn}(f)|$$





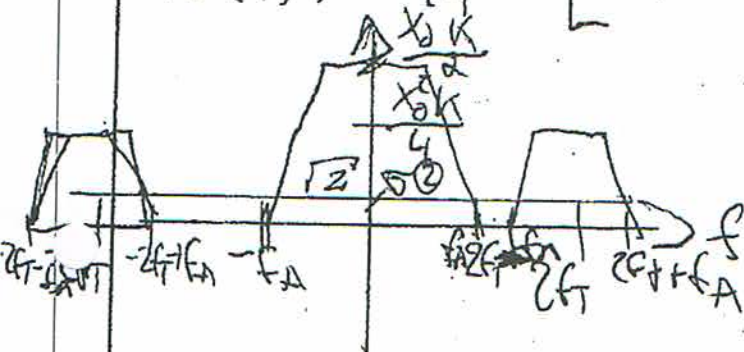
Aufgabe:

4a fosl

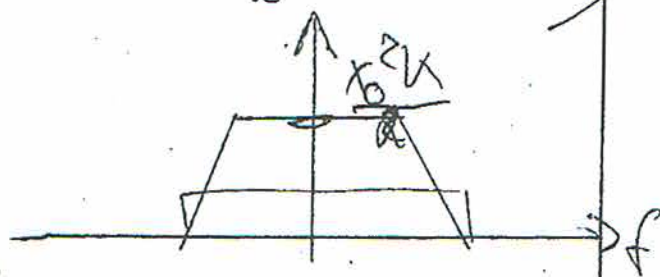
$$U(f) = |R(f)| * \hat{x}_T(f) = \left[ \frac{x_0 k}{2} [A(f+f_T) + A(f-f_T)] + S_{\text{arr}}(f) \right] * \left[ \frac{x_0}{2} [S(f+f_T) + S(f-f_T)] \right]$$

$$|U(f)| = \frac{x_0^2 k}{2} [A(f+2f_T) + A(f-2f_T) + 2A(f)]$$

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



\* Rauschhöhe nicht beschriftet →



Aufgabe:

4b

für Ausgangssignal nur Multiplikation der cos(Terme interessant.

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

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

Aufgabe

4b

1/16

b)  
5/6

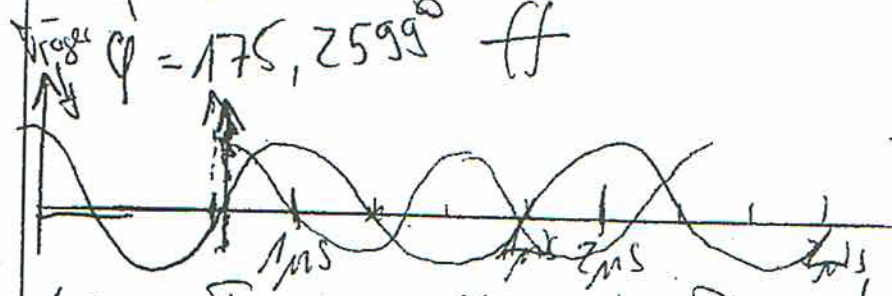
$f_T = 1 \text{ GHz} \leftrightarrow f, 1 \text{ ns}$

Periodendauer  $T_T = 1 \mu\text{s}$  Laufzeit  $370 \mu\text{s}$

entspricht Phasendrehung von  $\varphi = 360^\circ \cdot \frac{1 \mu\text{s}}{370 \mu\text{s}} = 3415,2599^\circ$  ; auf Einheitskreis gerechnet  $\frac{360^\circ}{1 \mu\text{s}} \cdot 370 \mu\text{s}$

$\varphi = 175,2599^\circ$  ff

Problem verstanden



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

~~AA~~

Aufgabe:

4c

na  
5/6

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

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

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

In Frequenzbereich spricht man von der Gruppenlaufzeit des Systems. Dies ist Ableitung der Phase nach der Frequenz  $\omega$  (-1).

$\frac{d\varphi}{d\omega} = -T \cdot \left| \frac{1}{2\pi} \right|$

(ideal)

Folgerungen ?

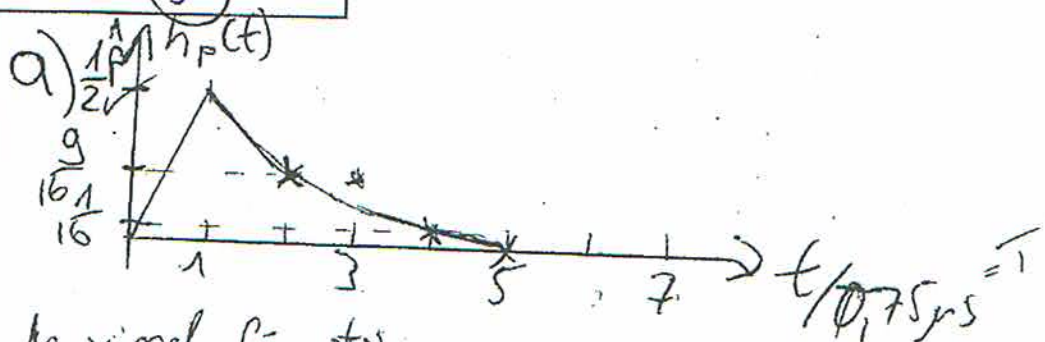


Aufgabe: 4c fort

$R(f)$  bleibt wie a)



Aufgabe: 5



Maximal für  $\frac{t}{0.75\mu s}$

$$h_p(t) = 0.5 \cdot \left( \frac{t - 5T}{4T} \right)^2 \quad T \leq t \leq 6T \quad T = 0.75\mu s$$

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

$$T_s = 1\mu s$$

$$t = \frac{1}{0.75\mu s} = m \cdot T_s + t_0$$

$$t = \frac{1}{0.75\mu s} \quad t = 0.75\mu s + T_s = t_0, m=1$$

$$t_0 = -0.25\mu s$$

## Aufgabe: (5b)

~~2/12~~  
 b)  $h_p(km)$   $m=1,2,3$ 

$$t_m = m \cdot T_s + t_0 \quad T_s = 1 \mu s \quad t_0 = -0,25 \mu s \quad \checkmark$$

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

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

$$t_3 = 2,75 \mu s \Rightarrow h_p(t_3) = \frac{\hat{p}}{2} \cdot \frac{1}{3} = \frac{\hat{p}}{18} \quad \checkmark$$

$$d) C_k = \left[ \sum_{i=0}^{k-1} c_i h_p(t_{k-i+n}) \right] / h_p(t_n)$$

$$C_1 = \frac{-c_0 \cdot h_p(t_2)}{h_p(t_1)} = \frac{-\frac{2}{9} \hat{p}}{\frac{1}{2} \hat{p}} = -\frac{4}{9} \quad \checkmark$$

$$C_2 = \frac{-c_0 \cdot h_p(t_3) + C_1 \cdot h_p(t_2)}{h_p(t_1)} = \frac{-\frac{1}{18} \hat{p} - \frac{4}{9} \cdot \frac{2}{9} \hat{p}}{\frac{1}{2} \hat{p}} = -\frac{7}{81} \quad \checkmark$$

## Aufgabe: 5e

~~noch~~  
~~3/3~~  
 Nein, aber es ist möglich, diese so weit zu reduzieren, dass

~~reduzieren, dass~~  
 Ja, <sup>eigentlich falsch, aber s.u.</sup> 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  $\max |A h_p| = \max |h_p(t_2) - h_p(t_1)|$   
 Wenn dies gegeben ist, klingen die Koeffizienten des Filters schnell ab und der Filter ist mit annäherbarer Ordnungszahl realisierbar.  
 Ein gewisses Stören bleibt zwar, aber im Ingenieursinn kann man dann von 99% ISI-Freiheit sprechen.



Aufgabe:

5f

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

$$x(t) = \lim_{T_s \rightarrow 0} \hat{p} \text{ rect} \left( \frac{t - 0,5 T_s}{T_s} \right)$$

$$x(t) * h(t) = y(t)$$

nur wenn gleichzeitig  $\hat{p} \rightarrow \infty$  &  $\delta$

$h_k$  sollte hier gegeben sein.  $\rightarrow h_p$   
Antwort der inversen Frage  $h_p \rightarrow h_k$

Aufgabe: