

Nachrichtenübertragung

(Vorlesung I + II und Rechenübung I + II)

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name:

Vorname:

Matr.Nr:

- E-Technik
- Techn. Inf.
- Magister
- HF
- SF
- VF
- EF

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Max. Punk- tezahl	10	10	10	10	10	10	10	10	80
Erreichte Punktezahl									

Hinweise:

1. Die Fragen zur Rechenübung sind fettgedruckt und mit einem Stern (*) gekennzeichnet!
2. Schreiben Sie die Lösungen jeweils direkt auf den freien Platz unterhalb der Aufgabenstellung.
3. Die Rückseiten können bei bedarf zusätzlich beschrieben werden. Nummerierungen in diesem Fall nicht vergessen.
4. Sollte auch der Platz auf der Rückseite nicht ausreichen, bitte **kein eigenes Papier verwenden**. Die Klausuraufsicht teilt auf Anfrage **zusätzlich leere Blätter** aus.
5. Taschenrechner sind als Hilfsmittel **n i c h t** erlaubt!
6. Es sind **keine Unterlagen** zur Lösung dieser Klausur zugelassen!
7. Bearbeitungszeit: **150 min.**
8. Bitte **keinen Bleistift** verwenden!

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Nachrichtenanäle	3
2	Störungen und Störreduktion	5
3	Analoge Modulation	7
4	PAM/PCM	10
5	Kanalcodierung	12
6	Binäre Basisbandübertragung	14
7	Digitale Modulation	17
8	Binärübertragung bei additiven Rauschstörungen	19

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 2</p>
---	--	-----------------

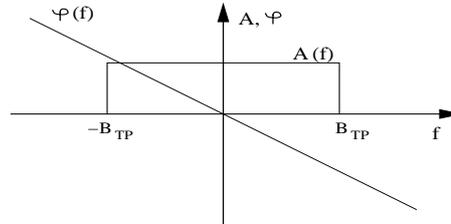
1 Nachrichtenkanäle

10 Punkte

Idealer Tiefpass

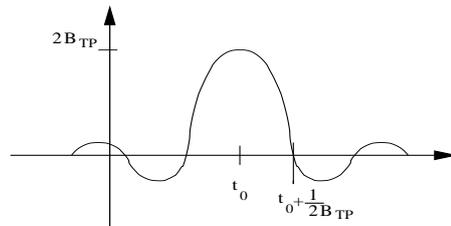
- 1.1 Geben Sie die Gleichung für die Übertragungsfunktion eines idealen Tiefpasses der Bandbreite B_{TP} in allgemeiner Form an und skizzieren Sie sowohl den Amplitudengang als auch den Phasengang! 1,5 P

$$H_{TP}(j\omega) = \Pi_{2\pi 2B_{TP}}(\omega) e^{-j\omega t_0}$$



- 1.2 Berechnen und zeichnen Sie die Impulsantwort des Tiefpasses aus Aufgabe 1.1! 1,5 P
 (Hinweis: $\frac{1}{T} \text{si}(\frac{\omega T}{2} t) \longleftrightarrow \Pi_{\omega T}(\omega)$)

$$h_{TP}(t) = 2B_{TP} \text{si}(2\pi B_{TP}(t - t_0))$$



- 1.3 Berechnen und bestimmen Sie für den Tiefpass 4 P

- a) das Überschwingen \ddot{u} ! 2 P

1. Maximum: $h_{TP}(t_0) = 2B_{TP}$

2. Maximum: $|\sin 2\pi B_{TP}(t_1 - t_0)| = 1 \Rightarrow 2\pi B_{TP}(t_1 - t_0) = \frac{3}{2}\pi$
 $\Rightarrow h_{TP}(t_1) = 2B_{TP} \frac{2}{3\pi}$

Überschwingen: $\ddot{u} = \frac{h_{TP}(t_1)}{h_{TP}(t_0)} = \frac{2}{3\pi} = 0.21$

- b) die Impulsbreite Δt ! 2 P

Die Impulsbreite Δt gibt den Zeitraum zwischen den beiden Nulldurchgängen an.

$$\Delta t = t_{01} - t_{02} = 2(t_{01} - t_0)$$

mit $2\pi B_{TP}(t_{01} - t_0) = \pi \Rightarrow t_{01} = \frac{1}{2B_{TP}} + t_0$

$$\Delta t = 2(\frac{1}{2B_{TP}} + t_0 - t_0) = \frac{1}{B_{TP}}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003	Blatt: 3
--	---	----------

cos²-Amplitudengang

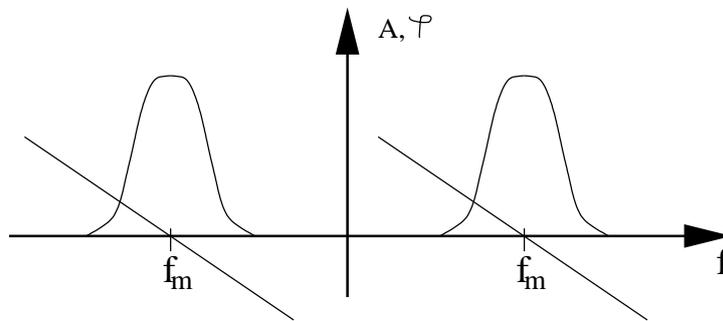
- 1.4 Der oben beschriebene ideale Tiefpass wird durch einen Tiefpass mit cos²-förmigem Amplitudengang gleicher Bandbreite ersetzt. Nennen Sie jeweils einen Vor- und Nachteil dieser Maßnahme! 1 P

Vorteile: geringeres Überschwingen von Impuls- und Sprungantwort

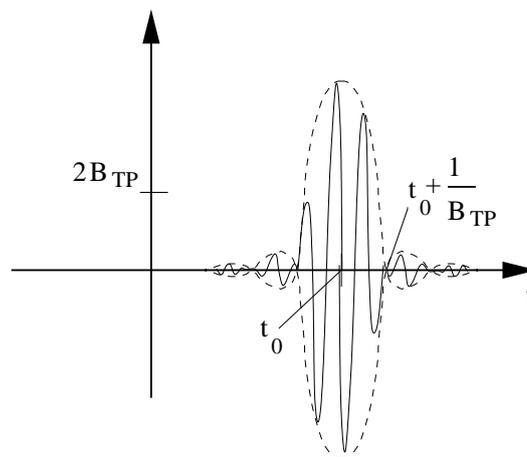
Nachteile: Verzerrung im Übertragungsverhalten, Vergrößerung der Impulsbreite

- 1.5 Der Tiefpass mit cos²-förmigen Amplitudengang sei das äquivalente Tiefpasssystem eines Bandpasses mit der Mittenfrequenz f_m . 2 P

- a) Skizzieren Sie Amplituden- und Phasengang des Bandpasses! 1 P



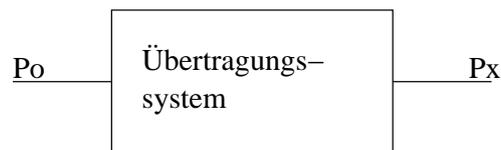
- b) Skizzieren Sie die Impulsantwort des Bandpasses! 1 P



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 4</p>
---	---	-----------------

2 Störungen und Störreduktion

10 Punkte

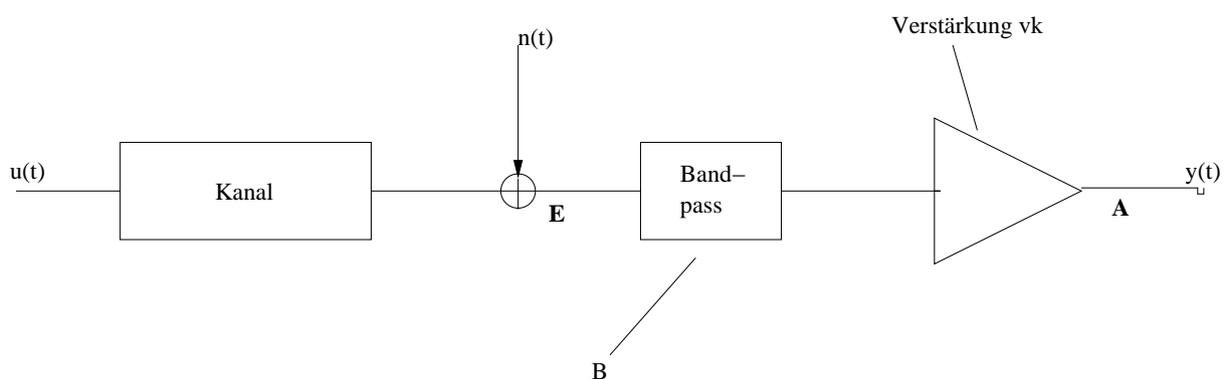


- 2.1 Gegeben sei das oben abgebildete Übertragungssystem mit den entsprechenden Ein- und Ausgangsleistungen. Erklären Sie den Begriff Dämpfungsmass und beziehen Sie sich gegebenenfalls auf die Skizze. Das Dämpfungsmass ist das Verhältnis der Signalleistungen am Eingang und am Ausgang des Systems. Meist wird es in dB angegeben. 1 P

$$\alpha = 10 \log \frac{P_o}{P_x}$$

- 2.2 Erklären Sie die Begriffe "relativer Leistungspegel" und "absoluter Leistungspegel". Worin besteht der Unterschied? Beziehen Sie sich gegebenenfalls auf die Skizze. 1 P

Der relative Leistungspegel beschreibt das Leistungsverhältnis zwischen einem Signal und einem Referenzsignal. Es wird meist in dB angegeben. Der Leistungspegel am Ausgang relativ zu P_o ist also $10 \log \frac{P_x}{P_o}$. Der absolute Leistungspegel hingegen beschreibt das Leistungsverhältnis zwischen einem Signal und 1mW. Meist wird es in dBm angegeben. Dementsprechend ist der absolute Leistungspegel am Ausgang $10 \log \frac{P_x}{1\text{mW}}$.



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	--	-----------------

- 2.3 Gegeben sei die oben abgebildete Übertragungsstrecke. Die Verstärkung v_k [dB] gleiche die Kanaldämpfung genau aus. Das additive Rauschen $n(t)$ sei weisses Rauschen. Die Bandbreite des Filters sei B . Geben Sie das Leistungsdichtespektrum $S_{nn,E}(\omega)$ am Punkt E an. 1 P

$$S_{nn,E}(\omega) = \frac{N_0}{2}$$

- 2.4 Geben Sie die Rauschleistung am Punkt A an. 1 P
Die Rauschleistung ist um die Verstärkung V_k größer als am Ausgang des Bandpassfilters.

$$P_{n,A} = V_k B N_0$$

- 2.5 Geben Sie den Störabstand (SNR) am Punkt A an. 1 P

$$SNR_A = \frac{P_{u,A}}{P_{n,A}} = 10 \log \frac{P_u}{V_k B N_0} \quad [\text{dB}]$$

- 2.6 Wie wird in der Nachrichtentechnik ein Echo definiert? 1 P
In der Nachrichtentechnik ist ein Echo als eine zeitverzögerte Wiederholung eines gerade gesendeten Signals definiert.

- 2.7 Wodurch unterscheiden sich Leitungsechos und akustische Echos? 1 P
Leitungsechos entstehen durch Reflexionen an Leitungsabschnitten. Akustische Echos entstehen durch die Akustik eines Wiedergaberaums.

- 2.8 Erklären Sie qualitativ die Funktionsweise einer Echosperrung anhand einer Skizze der Übertragungsstrecke. 2 P
Skizze und Erklärung siehe Skript.

- 2.9 Was versteht man in der Nachrichtentechnik unter Nebensprechen? 1 P
Nebensprechen ist die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Nachrichtenkanäle.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 6</p>
--	--	-----------------

3 Analoge Modulation

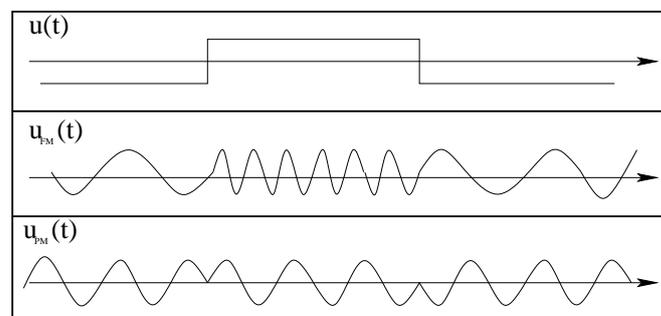
10 Punkte

Winkelmodulation

- 3.1 Geben Sie Momentanphase und Momentankreisfrequenz für die Phasenmodulation (PM) und die Frequenzmodulation (FM) an. 1 P

$$\begin{aligned}\omega_{\text{PM}}(t) &= \omega_c + K_{\text{PM}} \frac{du(t)}{dt} \\ \omega_{\text{FM}}(t) &= \omega_c + K_{\text{FM}} u(t) \\ \phi_{\text{PM}}(t) &= \omega_c t + K_{\text{PM}} u(t) \\ \phi_{\text{FM}}(t) &= \omega_c t + K_{\text{FM}} \int_{-\infty}^t u(t) dt\end{aligned}$$

- 3.2 Wie lässt sich aus einem PM - Modulator ein FM - Modulator realisieren? 0,5 P
Das Eingangssignal eines PM - Modulators muss vorerst integriert werden, damit das Ausgangssignal ein FM - moduliertes Signal ist. (Vorschalten eines Integrierrers)
- 3.3 Zeichnen Sie die Ausgangssignale eines PM - bzw. FM - Modulators in nachfolgendes Diagramm ein! 1 P



Frequenzmodulation (FM)

- 3.4 Was sagt der Modulationsindex aus? Erklären Sie kurz in eigenen Worten und geben Sie die Gleichung für den Modulationsindex β an! 1 P
Der Modulationsindex gibt das Verhältnis von maximalen Frequenzhub eines FM - Signales zur Bandbreite des zu modulierenden Signales an.

$$\beta = \frac{\Delta\omega_{\text{max}}}{2\pi B_Q} = \frac{\Delta f_{\text{max}}}{B_Q}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003	Blatt: 7
---	---	----------

3.5 Wie ändert sich der Modulationsindex β , wenn bei der FM - Modulation 1 P

a) die Signalamplitude eines Eintonsignales verdoppelt wird? 0,5 P

$$\frac{\beta_{\text{neu}}}{\beta_{\text{alt}}} = 2$$

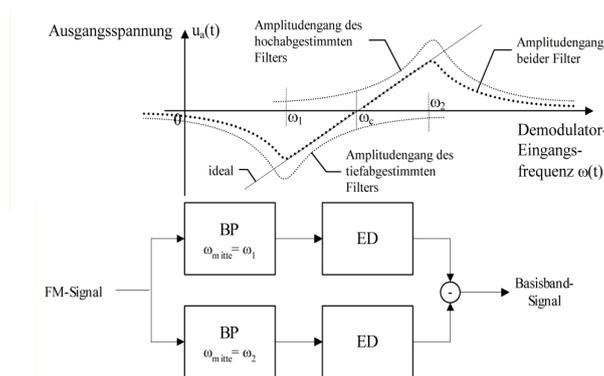
b) die Signalfrequenz eines Eintonsignales verdreifacht wird? 0,5 P

$$\frac{\beta_{\text{neu}}}{\beta_{\text{alt}}} = \frac{1}{3}$$

3.6 Welchen Vorteil bringt eine Erhöhung der Modulationsbandbreite bei Breitband - FM im Vergleich zur Schmalband - FM oder zur Amplitudenmodulation (AM)? Gehen Sie dabei auf die sich ändernde Größe ein und geben die Art der Abhängigkeit an! 1,5 P

Bei Breitband - FM - Verfahren ermöglicht die Erhöhung der Bandbreite des mod. Signals eine Verbesserung des Rauschverhaltens, also einen Anstieg des SNR. Die Abhängigkeit des Ausgangs SNR von der Bandbreite B_{KM} ist quadratisch. (Eine Verdoppelung von B_{KM} führt zu einer Vervierfachung des SNR_{FM})

3.7 Beschreiben Sie das Prinzip der FM - Demodulation mittels Gegentaktdemodulators und zeichnen Sie die zugehörige Demodulationskennlinie und das Blockschaltbild! 2 P



Durch die Differenzbildung der Ausgangssignale der Bandpässe wird die dargestellte Kennlinie erzeugt. Aufgrund der konstanten Amplitude des Eingangssignals, ist die Amplitude der Einhüllenden des Differenzsignals proportional

zur Momentanfrequenz des Eingangssignals. Es findet also eine FM/AM Wandlung statt. Durch anschließende Einhüllendendemodulation kann das Signal vollständig demoduliert werden.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 8</p>
---	---	-----------------

- 3.8 Erläutern Sie kurz das Prinzip eines Stereo - FM Hörfunksenders! Wie wird eine Kompatibilität mit Mono - FM Hörfunkempfängern erreicht? 2 P

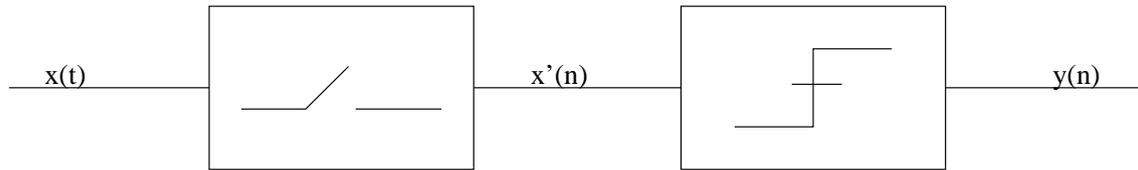
Beim Stereo - FM Hörfunk werden das Summensignal des linken und rechten Kanals im Basisband gelassen und das Differenzsignal mittels ZSB auf 38 kHz aufmoduliert. Gleichzeitig wird zur synchronen Demodulation ein 19 kHz Pilotton eingespeist, der auch das Modulationssignal der AM bestimmt. In höheren Frequenzbereichen werden noch zusätzliche Signale moduliert. Das so entstandene Signal wird dann mittels normaler FM in den Bereich zwischen 88 MHz und 108 MHz moduliert.

Die Kompatibilität zum FM - Monoempfänger wird dadurch erreicht, dass das Summensignal (L+R) vor der FM Modulation im Basisband belassen wird. Der Monoempfänger demoduliert somit nur die ersten 15 kHz des Gesamtsignales.

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003	Blatt: 9
---	---	----------

4 PAM/PCM

10 Punkte



4.1 Gegeben sei das oben abgebildete System aus Abtastung und Quantisierung. 1 P

x' sei ein ideal abgetastetes Signal. Erklären Sie das Prinzip der Quantisierung. Der Wertebereich des Eingangssignals wird in verschiedene Intervalle unterteilt. Jedem Intervall wird ein Rekonstruktionswert zugeordnet. Der Quantisierer wandelt anhand dieser Zuordnungsvorschrift das Signal $x'(n)$ mit möglicherweise unendlichem Wertebereich in ein Signal $y(n)$ mit M möglichen Werten um.

4.2 Sei der Quantisierer ein gleichförmiger, vierstufiger midrise-Quantisierer. 1 P

Zeichnen Sie dessen Kennlinie.

Vergl. Skript Bild 8.4 Seite 263

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 10</p>
---	--	------------------

- 4.3 Das PCM Signal $y(n)$ soll binär übertragen werden. Wird dafür eine größere Bandbreite benötigt als für die Analogübertragung von $x(t)$? Begründen Sie ihre Antwort
1 P
Die Bandbreite beträgt $mB_{\text{Quelle}}(1+r)$, $m > 1, 0 \leq r \leq 1$. In diesem Fall ist $x(t)$ die Quelle. Das PCM Signal hat also immer eine grössere Bandbreite.
- 4.4 Von welcher Eigenschaft des Sendepulses hängt die Bandbreite des PCM-Signals ab?
1 P
Vom Flankenfaktor r (roll-off).
- 4.5 Skizzieren Sie den Amplitudengang $S(j\omega)$ des Sendepulses, mit der sich die kleinste Bandbreite für die PCM-Übertragung erreichen lässt.
1 P
Vergl. Skript. Bild 7.31 Seite 254
- 4.6 Erklären Sie, wie eine ungleichförmige Quantisierung unter Verwendung eines gleichförmigen Quantisierers realisiert werden kann.
1 P
Vorschalten eines Komponders.
- 4.7 Gegeben sei nun ein M -stufiger ungleichförmiger Quantisierer mit Intervallen I_j , Entscheidungswerten x_j , und Rekonstruktionswerten y_j , $j = 1, 2, \dots, M$. Die Rekonstruktionswerte liegen in der Mitte der zugehörigen Intervalle und die Verteilungsdichtefunktion des Eingangssignals sei innerhalb eines Intervalls I_j näherungsweise konstant. Das Eingangssignal sei amplitudenbegrenzt, so dass der Quantisierer nicht übersteuert wird. Leiten Sie die Gesamtfehlervarianz σ_q^2 her.
4 P
Vergl. Skript Seite 275

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	---	------------------

5 Kanalcodierung*10 Punkte*****5.1 Gegeben sei ein (n, k, d) Blockcode mit $n=7$, $k=4$ und $d=3$ und die Paritätsmatrix \mathbf{P} =** **6 P**

$$\mathbf{P} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

a) Wie viele Fehler können mit diesem Code erkannt und korrigiert werden? **1 P** $s \leq d_{\min} - 1 = 2$ Fehler können erkannt werden. $t \leq \frac{d_{\min} - 1}{2} = 1$ Fehler kann korrigiert werden.b) Der Informationsvektor $\mathbf{i} = [1001]$ soll nun mit Hilfe der Paritätsprüfmatrix codiert und über einen Kanal übertragen werden. Berechnen Sie die Prüfbits und geben Sie den Kanalvektor \mathbf{a} an! **2 P**

$$\mathbf{c} = \mathbf{i} \cdot \mathbf{P} = [011]$$

$$\mathbf{a} = [1001011]$$

c) Ein empfangener Kanalvektor sei $\mathbf{a}' = [1101001]$. Zeigen Sie, dass der Vektor fehlerhaft ist! **2 P**

$$\mathbf{H} = [-\mathbf{P}^T; \mathbf{I}]$$

$$\mathbf{a}' \cdot \mathbf{H}^T = [001] \neq \mathbf{0}$$

d) Welches Codewort wurde ursprünglich gesendet? **1 P**

Hinweis: Die Syndrom-Fehlervektor-Tabelle sei gegeben mit

Syndrom \mathbf{s}	Fehlervektor \mathbf{e}
001	0000001
010	0000010
100	0000100
101	0001000
111	0010000
011	0100000
110	1000000

$$\mathbf{s} = [001]$$

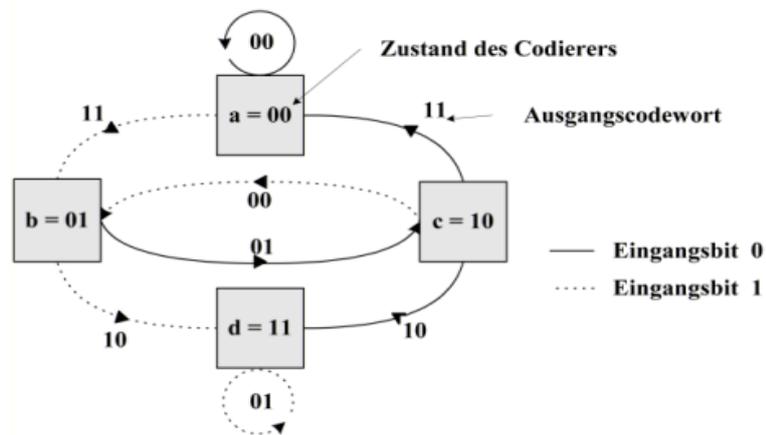
$$\Rightarrow \mathbf{e} = [0000001]$$

$$\Rightarrow \mathbf{a} = [1101000]$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003	Blatt: 12
---	---	-----------

*5.2 Gegeben sei das folgende Zustandsdiagramm eines Faltungscodes:

4 P



- a) Der Informationsvektor $\mathbf{i} = [1001]$ soll nun mit Hilfe eines Faltungscodierers codiert und über einen Kanal übertragen werden. Bestimmen Sie den Kanalvektor \mathbf{a} mit Hilfe des Zustandsdiagramms!
 Hinweis: Der Informationsvektor läuft von links nach rechts in den Faltungscodierer
 $\mathbf{a} = [11011111]$ 1 P
- b) Welche binären Werte befinden sich in den Speicherzellen des Faltungscodierers (den Zeitverzögerungsgliedern), unmittelbar nachdem die zweite '1' des Informationsvektors in den Faltungscodierer gelaufen ist?
 $b = 01$ 1 P
- c) Wie groß ist die Coderate dieses Faltungscodierers?
 $r = 0.5$ 1 P
- d) Nennen Sie einen großen Vorteil der Faltungscodierung! 1 P

Taktweise Verarbeitung der Informationsbits \Rightarrow keine Verzögerungen

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

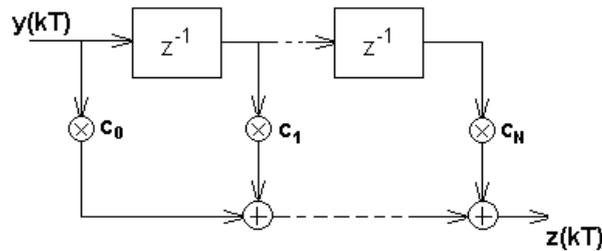
6 Binäre Basisbandübertragung

10 Punkte

Entzerrung von Impulsnebensprechen

6.1 Um bei Kanälen mit linearen Verzerrungen die Nyquistbedingung einhalten zu können, werden Transversalfilter zur Entzerrung von Vor- und Nachläufern eingesetzt.

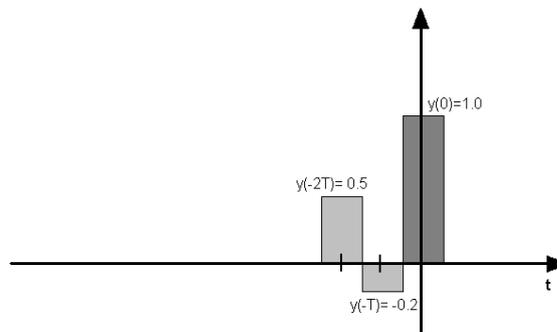
a) Zeichnen Sie die Struktur eines solchen Filters zur Entzerrung von Vorläufern! (Bitte vollständig beschriften!)



b) Um wie viele Takte (Abtastperioden) verzögert erscheint der Hauptwert nach einer solchen Entzerrung?

Der Hauptwert erscheint um N Takte verzögert im Signal $z(kT)$.

6.2 Gegeben sei folgendes Signal am Kanalausgang (der Hauptwert befindet sich bei $y(t = 0)$):



a) Berechnen Sie die Datenverzerrung D!

$$D = (0,5 + 0,2)/1 = 0,7$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 14</p>
---	--	------------------

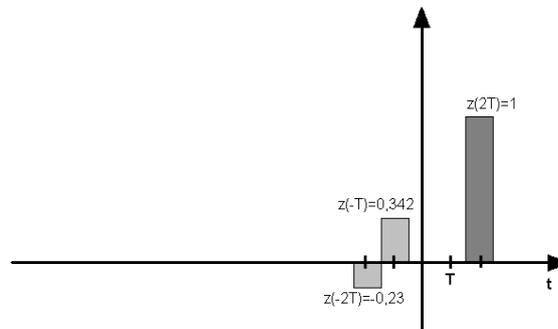
- b) Welche Ordnung N hat ein Filter, das die zwei Vorläufer entzerren soll? 0,5 P
 $N = 2$
- c) Berechnen Sie die Filterkoeffizienten! 2 P

$$\begin{aligned} c_0 y(0) + c_1 y(-T) + c_2 y(-2T) &= 0 \\ c_1 y(0) + c_2 y(-T) &= 0 \\ c_2 y(0) &= 1 \end{aligned}$$

Lösung des Gleichungssystems ergibt:

$$c_0 = -0,46, c_1 = 0,2, c_2 = 1$$

- d) Zeichnen Sie das entzernte Signal und bestimmen Sie dessen Datenverzerrung D ! 2 P



$$D = 0,572$$

Übertragung mit überlappenden Sendeimpulsen

- 6.3 Geben Sie die 1. Nyquistbedingung für einen Sendeimpuls bei einer Übertragung mit überlappenden Impulsen in mathematischer Form an! 1 P

$$\begin{aligned} s(kT) &= 1 && \text{für } k = 0 \\ s(kT) &= 0 && \text{sonst} \end{aligned}$$

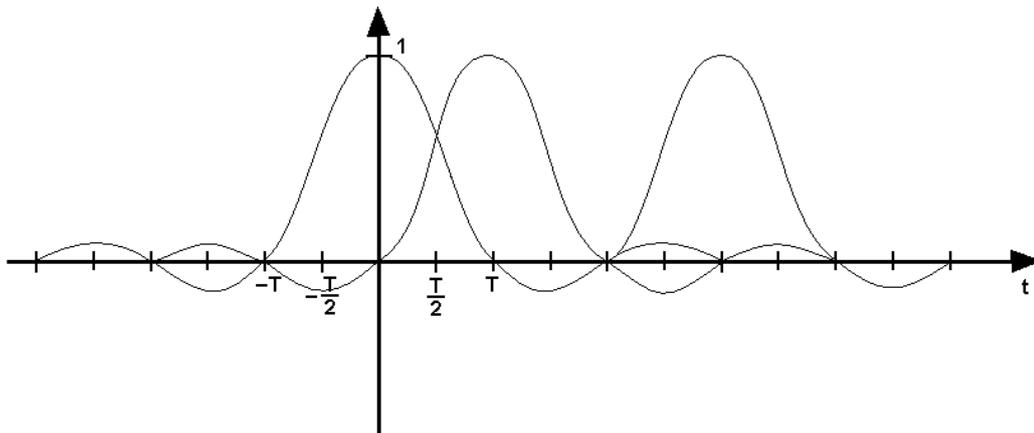
<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 15</p>
---	--	------------------

- 6.4 Wie groß ist die mögliche Kanalausnutzung einer solchen Übertragung in Abhängigkeit vom Flankenfaktor ρ ? Ist der Fall $\rho = 0$ praktisch nutzbar? Begründen Sie Ihre Antwort! 1,5 P

$$\frac{R}{B_K} = \frac{2}{1+\rho} \frac{\text{Symbole}}{\text{sHz}}$$

Für $\rho = 0$ ist die Impulsform eine si-Funktion. Wegen der Größe der Nebenmaxima und der Fehleranfälligkeit bei Abweichungen von der synchronen Abtastung ist eine Übertragung mit si-Impulsen praktisch nicht möglich.

- 6.5 Zeichnen Sie die Impulsfolge $s(kT)$ für die Übertragung einer Folge $b(kT) = [1101]$ mit überlappenden Sendeimpulsen in das folgende Diagramm ein! 1 P



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 16</p>
---	--	------------------

7 Digitale Modulation

10 Punkte

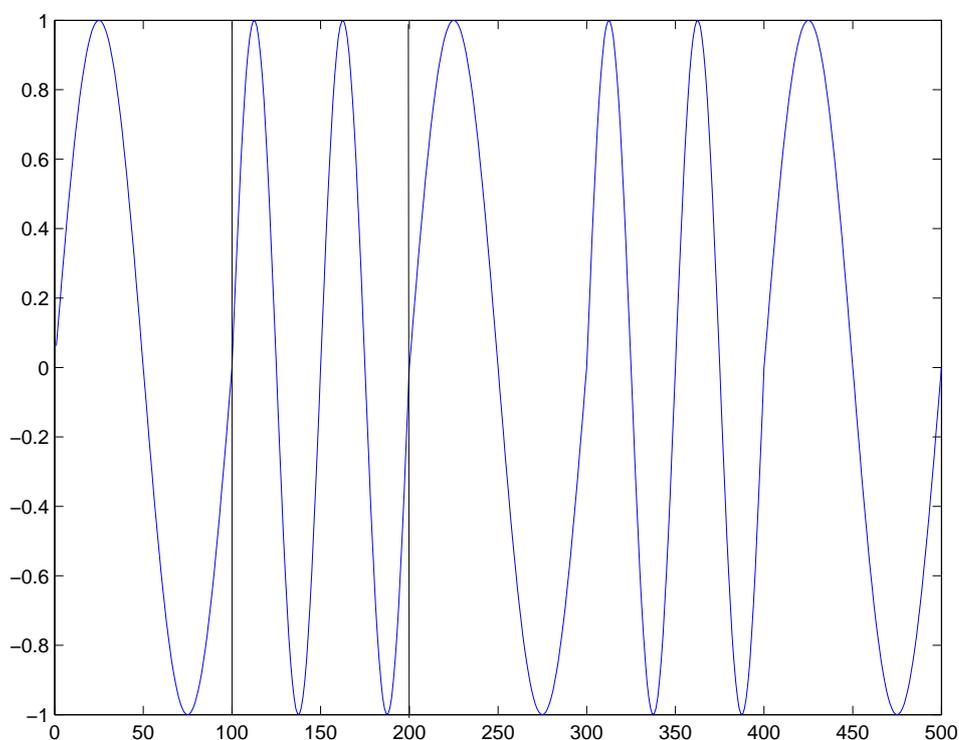
7.1 Erläutern Sie die Modulationsarten FSK und ASK. 1 P

FSK: Verwendung von Signalen unterschiedlicher Frequenz zum Senden verschiedener Symbole.

ASK: Verwendung von Signalen unterschiedlicher Amplitude zum Senden verschiedener Symbole.

7.2 Einzelnen Bits 0 und 1 sind Sendesignale $s_i(t) = A_{\text{mod}} \cos(\omega_i t)$, $i = 1, 2$ zugeordnet. Handelt es sich um eine FSK oder ASK? Sizzieren Sie das Sendesignal für die Bitfolge 01010 2 P

Es handelt sich um FSK.



7.3 Erklären Sie anhand einer Skizze das Prinzip der OFDM. 2 P

siehe Skript S. 500

7.4 Warum werden bei OFDM Schutzintervalle zwischen den Sendesignalen verwendet? 2 P

Um den Effekten des Mehrwegeempfangs entgegenzuwirken.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 17</p>
---	--	------------------

Gegeben sei ein Kanal, der von mehreren Teilnehmern zum telefonieren genutzt werden soll. Für die Mehrfachausnutzung eines Kanals stehen unter anderem die Multiplex-Verfahren Zeitmultiplex (TDM) und Frequenzmultiplex (FDM) zur Verfügung. Der hier vorliegende Kanal soll durch TDM *und* FDM aufgeteilt werden, wie im Folgenden beschrieben. Jeder TDM-Rahmen der Länge 4,615ms ist in acht Slots der Länge 577µs geteilt. Insgesamt hat der Frequenzbereich des Kanals 2x24,8MHz Bandbreite, mit Teilkanälen von je 200kHz Bandbreite. Zwei Teilkanäle zusammen bilden einen Duplex-Kanal. Ein Teilnehmer muss zum Telefonieren auf einen Duplexkanal zugreifen.

7.5 Wie viele Teilnehmer können innerhalb eines TDMA-Frames auf einen Kanal zugreifen? 1 P

Acht Teilnehmer.

7.6 Wie viele Duplex-Kanäle gibt es insgesamt? 1 P

$$\frac{24.800\text{kHz}}{200\text{kHz}} = 124$$

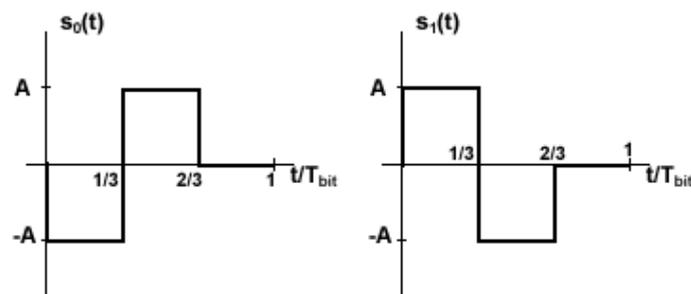
7.7 Wie viele Teilnehmer können gleichzeitig innerhalb eines Clusters telefonieren? 1 P

$$124 \cdot 8 = 992$$

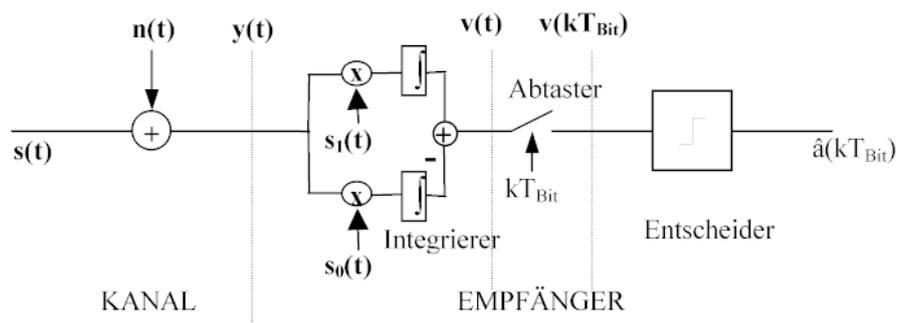
<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 18</p>
--	--	------------------

***8 Binärübertragung bei additiven Rauschstörungen 10 Punkte**

- *8.1 Eine Binärübertragungsstrecke soll mittels Pulsformung und Korrelationsempfänger vor Übertragungsfehlern durch Kanalrauschen geschützt werden. Zur Pulsformung werden sendeseitig Filter mit folgenden Impulsantworten $s_0(t)$ für eine binäre '0' bzw. $s_1(t)$ für eine binäre '1' benutzt:** 6 P



Der Korrelationsempfänger habe die folgende Struktur:

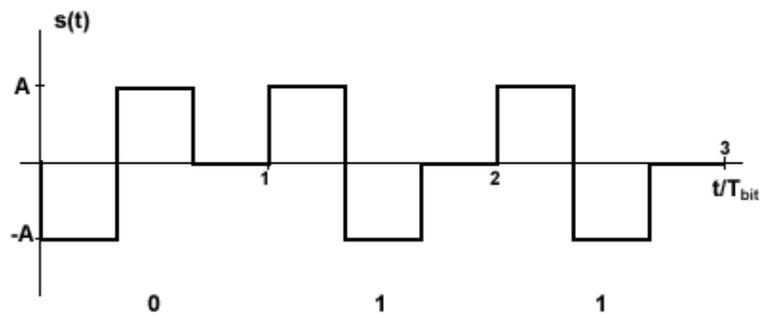


- a) Welche Signalisierung liegt vor? 1 P

optimale Signalisierung ($\rho_{01} = -1$)

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003	Blatt: 19
--	---	-----------

- b) Skizzieren Sie das durch Senden der binären Werte '011' nach der Pulsformung entstehende Signal! 1 P



- c) Berechnen Sie $v(kT_{\text{bit}})$ für die gegebenen binären Werte für $k=1, 2, 3$ unter der Annahme, dass $n(t)=0$ ist (also kein Rauschen auf dem Kanal liegt), und bestimmen Sie die maximale Amplitudendifferenz von $v(kT_{\text{bit}})$!
Hinweis: Die Integrierer werden nach jedem Abtastzeitpunkt T_{bit} wieder auf Null gesetzt. 3 P

$$v(T_{\text{bit}}) = \int_0^{\frac{2}{3}T_{\text{bit}}} -A^2 dt - \int_0^{\frac{2}{3}T_{\text{bit}}} A^2 dt = -\frac{4}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

$$v(2T_{\text{bit}}) = \int_{T_{\text{bit}}}^{\frac{5}{3}T_{\text{bit}}} A^2 dt - \int_{T_{\text{bit}}}^{\frac{5}{3}T_{\text{bit}}} -A^2 dt = \frac{4}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

$$v(3T_{\text{bit}}) = \int_{2T_{\text{bit}}}^{\frac{8}{3}T_{\text{bit}}} A^2 dt - \int_{2T_{\text{bit}}}^{\frac{8}{3}T_{\text{bit}}} -A^2 dt = \frac{4}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

$$\max[\Delta v] = \frac{8}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

<p>Technische Universität Berlin</p> <p>Fachgebiet Nachrichtenübertragung</p> <p>Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet</p> <p>Nachrichtenübertragung</p> <p>am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 20</p>
---	--	------------------

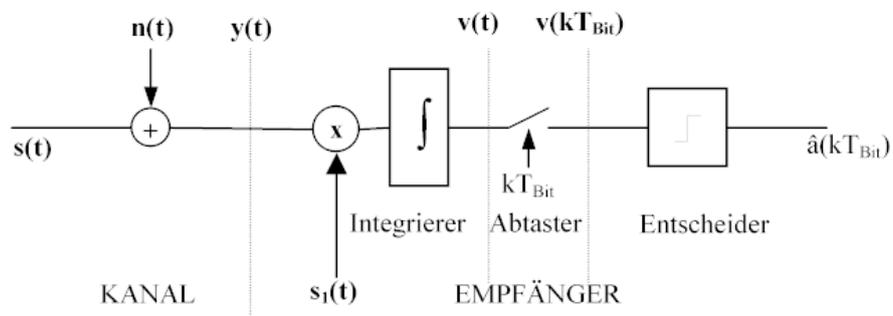
- d) Die Amplitude A betrage 250 mV, T_{bit} sei 3 ms und die Rauschleistungsdichte über der Kanalbandbreite sei konstant mit $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2/\text{s}$. Bestimmen Sie den Entscheider-SNR.

Hinweis: $\text{SNR}_E = \frac{4E_{\text{bit}}}{N_0} (1 - \rho_{01})$

$$E_{\text{bit}} = \int_0^{T_{\text{bit}}} |s(t)|^2 dt = \frac{2}{3} A^2 T_{\text{bit}}$$

$$\Rightarrow \text{SNR}_E = \frac{4 \cdot \frac{2}{3} A^2 T_{\text{bit}}}{N_0} \cdot (1 + 1) = \frac{8 \cdot A^2 T_{\text{bit}}}{3 \cdot \frac{N_0}{2}} = 200$$

- *8.2 Gegeben seien die Sendeimpulse aus Aufgabe 8.1 und der folgende Korrelationsempfänger:** 4 P



- a) Wie groß ist die maximale Amplitudendifferenz von $v(kT_{\text{bit}})$ bezogen auf die Amplitudendifferenz aus Aufgabe 8.1c bei gleicher binärer Sendefolge '011' und $n(t)=0$. Begründen Sie Ihre Antwort!

Hinweis: Eine Rechnung ist nicht unbedingt notwendig.

Die Amplitudendifferenz ist nur halb so groß wie in Aufgabe 8.1c, da bei dem Korrelationsempfänger aus 8.1 die einzelnen Beträge der Integriererausgänge gleich sind und sich addieren.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 21</p>
---	--	------------------

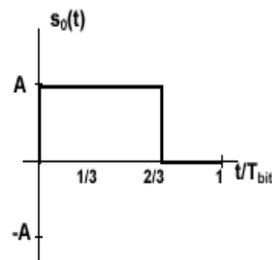
- b) Die Amplitude A betrage 250 mV, T_{bit} sei 3 ms und die Rauschleistungsdichte über der Kanalbandbreite sei konstant mit $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2/\text{s}$. Wie groß ist das Entscheider-SNR bezogen auf das Entscheider-SNR aus Aufgabe 8.1d. Begründen Sie Ihre Antwort / Ihr Ergebnis.

Die beiden Entscheider-SNRs sind gleich groß, obwohl die Amplitudendifferenz nur halb so groß ist, da sich das Rauschen im oberen und unteren Zweig beim Korrelationsempfänger aus 8.1 ebenfalls addieren

- c) Auf dem Kanal liege additiv ein Rauschen, dessen Amplituden gaußverteilt und mittelwertfrei sind. Nennen Sie einen Grund, warum ein Korrelationsempfänger das Rauschen unterdrückt.

Mittelwertfreies Rauschen wird durch den Integrierer reduziert.

- d) Zeichnen Sie eine orthogonale Funktion zu $s_0(t)$ oder geben Sie die Gleichung für die normierte Kreuzkorrelation an!



$$\rho_{01} = \frac{1}{E_{\text{bit}}} \int_{-\infty}^{\infty} s_0(t) \cdot s_1(t) dt$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 30.10.2003</p>	<p>Blatt: 22</p>
---	---	------------------