

Nachrichtenübertragung

(Vorlesung I + II und Rechenübung I + II)

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name:

Vorname:

Matr.Nr:

- Diplom E-Technik HF
 Bach./Master Techn. Inf. SF
 Magister KW VF
 Erasmus 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 29.10.2004	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Nachrichtenkanäle	3
2	Störungen und Störreduktion	6
3	PAM/PCM	9
4	Kanalcodierung	12
5	Analoge Modulation	15
6	Binäre Basisbandübertragung	19
7	OFDM und Bandbreiten-Übertragungsverfahren	22
8	Frequenzumtastung (FSK)	24

1 Nachrichtenkanäle

10 Punkte

Idealisierte Nachrichtenkanäle:

- 1.1 Gegeben sei ein ideales Übertragungssystem. Wie lauten für den allgemeinen Fall die Systemantwort $y(t)$ auf ein Eingangssignal $u(t)$, die Übertragungsfunktion $H(j\omega)$ und die Impulsantwort $h(t)$? 1 P

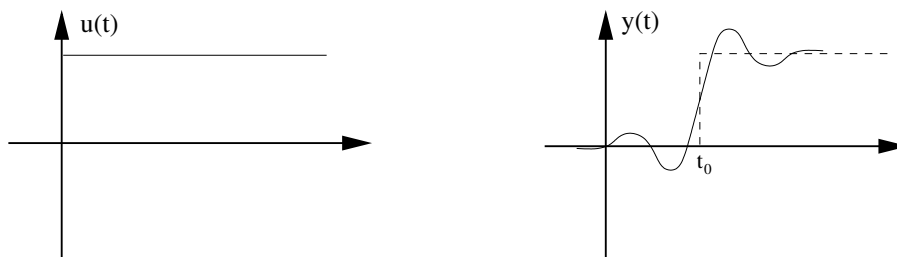
$$y(t) = \kappa u(t - t_0)$$

$$Y(j\omega) = \kappa U(j\omega) e^{-j\omega t_0}$$

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

- 1.2 Welche Eigenschaft gilt für die Impulsantwort $h_l(t)$ eines **linearphasigen** Systems $H_l(j\omega)$? Zeichnen Sie zusätzlich die Sprungantwort $h_\sigma(t)$ eines solchen Systems, so dass diese Eigenschaft erkennbar wird! 2 P

die Impulsantwort ist symmetrisch um die Verzögerung t_0 : $h(t_0 + t) = h(t_0 - t)$



- 1.3 Nennen Sie drei wesentliche Arten der Beschränkung bei der Übertragung von Nachrichten über reale Nachrichtenkanäle und erläutern Sie diese näher! 1,5 P

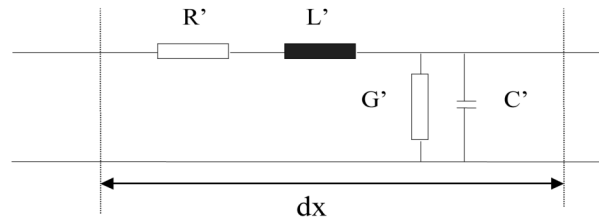
- begrenzte Bandbreite: physikalische Kanäle haben eine maximale Bandbreite
- begrenzte Sendeleistung: die Leistung einer Quelle ist beschränkt
- Störeinflüsse: reale Kanäle treten in Wechselwirkung mit der Umgebung, welche die Übertragung beeinflussen kann

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 3</p>
---	--	-----------------

1.4 Nachrichtenleitung

3 P

- a) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild eines **differentiellen Leitungsstücks** einer homogenen Leitung! Bezeichnen Sie die einzelnen Bauelemente und erläutern Sie diese!



R' : Widerstandsbelag (Widerstand je Längeneinheit)

L' : Induktivitätsbelag (Induktivität je Längeneinheit)

G' : Leitwert bezogen auf die Länge

C' : Kapazitätsbelag (Kapazität je Längeneinheit)

- b) Nennen Sie 3 wichtige Leitungsarten der Nachrichtenübertragungstechnik! 1,5 P

- Freileitung
- symmetrische Doppeladern
- Koaxialkabel
- Glasfaserkabel

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 4
--	--	----------

1.5 Digitales Kanalmodell

2,5 P

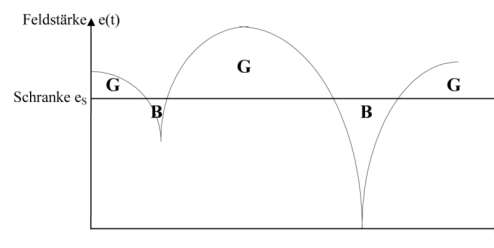
- a) Erläutern Sie das Gilbert-Elliot Kanalmodell für die Mobilfunkübertragung in eigenen Worten! Zeichnen Sie **zusätzlich** das Zustandsdiagramm und bezeichnen Sie es vollständig (Zustände und Übergangswahrscheinlichkeiten)!



In Abhängigkeit von der Empfangsfeldstärke befindet sich der Kanal in verschiedenen Gütezuständen. Das G.-E.-Kanalmodell unterscheidet dabei zwei Zustände (good/bad) die jeweils als stationär angesehen werden und ihre eigenen Bitfehlerwahrscheinlichkeiten besitzen. Je nach Anwendung des Modells gibt es bestimmte Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen den beiden Zuständen.

- b) Wie werden die Zustände good und bad festgelegt?

0,5 P



Die Zustände werden in Abhängigkeit von dem zeitlichen Verlauf der Feldstärke $e(t)$ und einer Schranke e_s festgelegt.

- c) Wie berechnet sich die mittlere Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_{Bit} in Abhängigkeit von den Einzelbitfehlerwahrscheinlichkeiten in den Zuständen und den Zustandsübergangswahrscheinlichkeiten?

1 P

$$p_{Bit} = P(B)p_{bad} + P(G)p_{good}$$

mit $P(B) = P(G)P(B|G) + P(B)P(B|B)$ somit

$$P(B) = \frac{P(B|G)}{1 + P(B|G) - P(B|B)} = \frac{P(B|G)}{P(B|G) + P(G|B)}$$

folgt

$$p_{Bit} = \frac{P(B|G)}{P(B|G) + P(G|B)} p_{bad} + \frac{P(G|B)}{P(B|G) + P(G|B)} p_{good}$$

<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 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	--	-----------------

2 Störungen und Störreduktion

10 Punkte

Störungen durch Rauschen

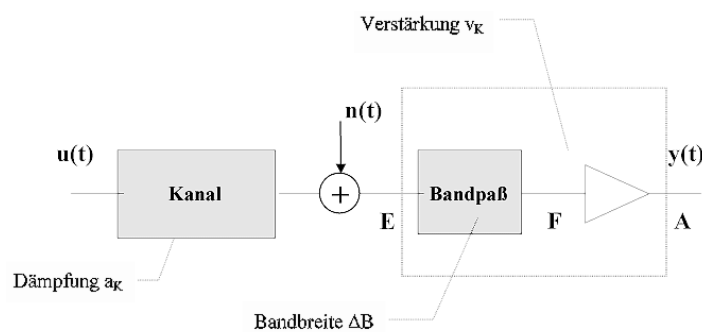
2.1 Welche Eigenschaften besitzt weißes Rauschen?

1 P

- *konstantes LDS*
- *unendliche Bandbreite*
- *mittelwertfrei*

2.2 Gegeben sei das folgende Ersatzschaltbild einer rauschbehafteten Übertragungsstrecke, wobei die Verstärkung v_K die Dämpfung a_K des Kanals voll ausgleicht:

2 P



a) Wie groß ist die Rauschleistung am Verstärkereingang, wenn das LDS des Rauschens vor dem Bandpass (BP) $S_{n,n,E}(\omega) = \frac{N_0}{2}$ konstant ist?

1 P

$$S_{rr,F}(\omega) = N_0 \Delta B$$

b) Wie groß ist das Signal-Rausch-Verhältnis am Verstärkerausgang ($S_{n,n,E}(\omega) = \frac{N_0}{2}$)?

1 P

$$SNV = \frac{P_u}{v_K N_0 \Delta B}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 6</p>
---	--	-----------------

Echostörungen

- 2.3 Nennen Sie die zwei Arten von auftretenden Echos in der Nachrichtentechnik und beschreiben Sie kurz deren Ursachen! 1,5 P

akustische Echos: entstehen aufgrund der Schallreflexionen im Raum (Akustik des Wiedergaberaumes)

Leitungsechos: entstehen durch Leitungsreflexion oder in Gabelschaltung bei Zweidraht-Vierdraht-Verbindungen

- 2.4 Durch welche Größe kann die Raumakustik für die Unterdrückung von Echos bei einer Freisprecheinrichtung modelliert werden? 0,5 P

Raumimpulsantwort

Echokompensation

- 2.5 Zeichnen und beschreiben Sie das Prinzip der Echosperrung bei einer Gabelschaltung zwischen zwei Teilnehmern! 2 P

siehe Skript NUEI

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 7
---	---	----------

- 2.6 Zeichnen und beschreiben Sie das Prinzip der adaptiven Echokompensation bei einer Gabelschaltung zwischen zwei Teilnehmern! 2 P

siehe Skript NUEI

- 2.7 Welchen Nachteil hat die Echosperrung gegenüber der adaptiven Echokompensation und wann kommt dieser besonders deutlich zum Ausdruck? 1 P

Die Echosperrung dämpft nur einen Teil der Vierdrahtverbindung während die Echokompensation die Übertragungsfunktion des Echopfades schätzt und aus dem Signal herausrechnet. Besonders deutlich wird dieser Unterschied bei Gegensprechen (beide Teilnehmer einer Verbindung sprechen zur gleichen Zeit).

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 8
---	---	----------

3 PAM/PCM

10 Punkte

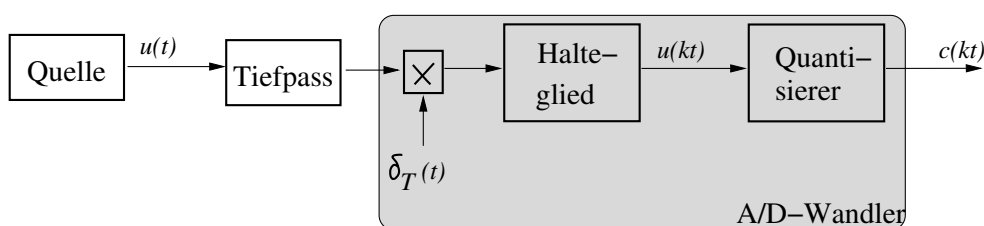
3.1 Nennen Sie 3 Vorteile der digitalen Übertragung von Information gegenüber der analogen Übertragung! 1 P

- Übertragungsqualität in weiten Grenzen unabhängig vom Empfänger
- einfachere Multiplexbildung
- Intergration von Übertragung und Vermittlung
- größere Wirtschaftlichkeit
- Integration von Diensten möglich
- usw.

3.2 Nennen Sie 2 Nachteile der digitalen Übertragung gegenüber der analogen Übertragung! 1 P

- Zusätzliche Fehler durch die Quantisierung
- erhöhter Bandbreitenbedarf

3.3 Zeichnen Sie das Blockschaltbild für den Prozess der Digitalisierung eines Signals $u(t)$ und erklären Sie kurz die einzelnen Elemente! 1,5 P



Das Quellsignal wird erst tiefpassgefiltert um Aliasing zu verhindern und dann mittels Signalverbreiterung abgetastet. Im Quantisierer erfolgt dann die Wandlung in ein PCM-Signal mit wohl definierten Signal-Level.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 9</p>
---	---	-----------------

3.4 Mehrwertige Quantisierung 2,5 P

- a) Ein analoges Signal $u(t)$ werde mit minimal möglicher Abtastfrequenz abgetastet, mit einem 32-Bit-Quantisierer quantisiert und über einen digitalen Kanal übertragen. Das umgewandelte PCM-Signal sei nicht binär sondern 8-wertig. Die Bandbreite des analogen Signals beträgt $B_u = 30$ kHz und die zur Verfügung stehende Kanalbandbreite sei $B_K = 400$ kHz. Wie groß darf der roll-off-Faktor der verwendeten Sendeimpulse maximal sein, damit eine fehlerfreie Übertragung stattfinden kann? 1,5 P

mit $m = 32$ und $N = 8$ folgt aus

$$B_K = \frac{m}{1dN} B_u (1 + r)$$

$$r = \frac{400\text{kHz} \cdot 3}{30\text{kHz} \cdot 32} - 1 = \frac{5}{4} - 1 = 0,25$$

- b) Würde auch ein binärwertiges PCM-Signal ausreichen um eine fehlerfreie Übertragung zu gewährleisten? Begründen Sie! 1 P

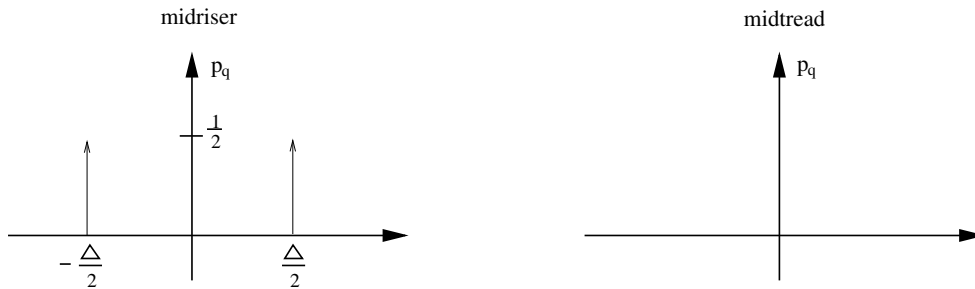
Nein, ein binäres PCM Signal würde mindestens $m \cdot B_u = 960$ kHz Bandbreite benötigen.

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 10
--	--	-----------

3.5 Gleichförmige Quantisierung: Ruhegeräusch

3 P

- a) Zeichnen Sie die Amplitudendichteverteilungen für das **Ruhegeräusch** eines *midriser*- und eines *midtread*-Quantisierers und geben Sie jeweils die Gleichung für $p_{q,ruhe}(q)$ an! Die Stufenhöhe der Quantisierer sei Δ .



$$\text{midriser: } p_{q,ruhe} = \frac{1}{2} \left[\delta \left(q - \frac{\Delta}{2} \right) + \delta \left(q + \frac{\Delta}{2} \right) \right]$$

$$\text{midtread: } p_{q,ruhe} = 0$$

- b) Berechnen Sie die Ruherauschleistung σ_q^2 für beide Fälle!

1,5 P

$$\text{midriser: } \sigma_q^2 = \int_{-\infty}^{\infty} q^2 p_q dq = \frac{\Delta^2}{4}$$

$$\text{midtread: } \sigma_q^2 = 0$$

3.6 Ungleichförmige Quantisierung

1 P

In welchen Fällen werden ungleichförmige Quantisierer eingesetzt und wie wird im Allgemeinen eine ungleichförmige Quantisierung realisiert?

- um das SNR_V bei Signalen mit ungleichförmiger Amplitudendichteverteilung zu erhöhen werden die Entscheiderintervalle in Bereichen mit höherer Amp.-dichte schmaler gewählt, was zu einer ungleichförmigen Quantisierung führt.

- Realisierung: durch vor- bzw. Nachschaltung eines Kompondierers an einen gleichförmigen Quantisierer

$$\text{SNR}_V = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_q^2} = \text{const.}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	--	------------------

4 Kanalcodierung

10 Punkte

Blockcodes

4.1 Gegeben seien folgende zulässige Codewörter eines (n, k) - Blockcodes: 4 P

i_1	i_2	i_3	c_1	c_2	c_3	j
0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	1	0	1	2
0	1	0	0	1	1	3
0	1	1	0	1	0	4
1	0	0	1	1	0	5
1	0	1	0	0	1	6
1	1	0	1	0	0	7
1	1	1	1	1	1	8

a) Geben Sie n , k an und Berechnen Sie die Coderate r ! 1 P

$$n=6, k=3$$

$$r = \frac{k}{n} = \frac{1}{2}$$

b) Wieviele zulässige und unzulässige Codewörter gibt es? 0,5 P

zulässig: 8

$$\text{unzulässig: } 2^6 - 8 = 64 - 8 = 56$$

c) Ist der Code *systematisch*? Begründen Sie! 0,5 P

Der Code ist systematisch, da die Informationsbits unverändert bleiben.

d) Ist der Code *zyklisch*? Begründen Sie! 1 P

Der Code ist zyklisch, da durch zyklische Verschiebung der Codewörter a_j stets zulässige Codewörter a_k entstehen.

e) Ist der Code *linear*? Begründen Sie! 1 P

Der Code ist nicht linear, da z.B.

$$a_2 \oplus a_3 = 011110 \text{ kein zulässiges Codewort ergibt.}$$

<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 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 12</p>
---	---	------------------

Algebraische Codierung von Blockcodes

- 4.2 Es soll ein systematischer (5,3)-Blockcode erstellt werden, wobei für die beiden Prüfbits c_1 und c_2 folgende Regel gilt: 4 P

$$c_1 = i_1 \oplus i_2 \oplus i_3$$

$$c_2 = i_1 \oplus i_3$$

- a) Stellen sie die Generatormatrix \mathbf{G} auf, mit der ein Informationsvektor \mathbf{i} Multipliziert werden muss, um den Codevektor \mathbf{a} zu erhalten! 1 P

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

- b) Bestimmen Sie die Codevektoren \mathbf{a}_4 und \mathbf{a}_7 der Informationsvektoren $\mathbf{i}_4 = 011$ und $\mathbf{i}_7 = 110$! 1 P

$$\mathbf{a}_4 = 01101$$

$$\mathbf{a}_7 = 11001$$

- c) Nach einer Übertragung über einen Kanal wurde folgendes Codewort empfangen: $\mathbf{a}' = 11000$. 2 P

Zeigen Sie mittels Syndrombestimmung, dass \mathbf{a}' kein zulässiges Codewort ist!

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{s} = \mathbf{a}' * \mathbf{H}^T = 01 \neq 00$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

- 4.3 Wie verändert sich die erforderliche Kanalbandbreite bei einer Übertragung, wenn zu den k Informationsbits noch l Prüfbits hinzukommen? 0,5 P

$$B_{K,KC} = \frac{n}{k} B_K = \frac{k+l}{k} B_K = \left(1 + \frac{l}{k}\right) B_K$$

- 4.4 Wodurch zeichnen sich zyklische Codes im Allgemeinen aus und was sind die Vorteile gegenüber anderen Blockcodes? Wozu werden speziell *zyklische Redundanzprüfcodes* (CRC Codes) eingesetzt? 1,5 P

allgemeine Eigenschaft: jeder Links- oder Rechts-Shift eines zulässigen Codewortes ergibt wieder ein zulässiges Codewort

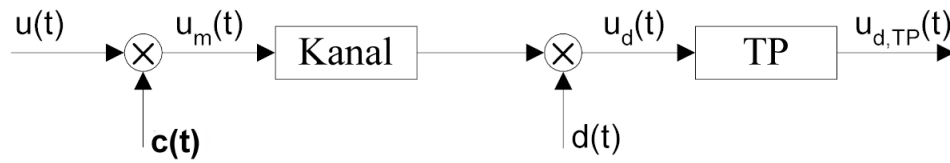
Vorteil: Aufgrund starker Strukturiertheit sind effiziente und schnelle Algorithmen zum Codieren und Decodieren vorhanden

CRC Codes: werden verwendet wenn Fehler nur erkannt werden sollen, besonders gut sind Burst-Fehler erkennbar

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 14
---	---	-----------

5 Analoge Modulation*10 Punkte**

Gegeben sei die folgende Übertragungsstrecke:



Ein Cosinussignal $u(t) = A_u \cdot \cos \omega_u t$ werde mit einem Trägersignal $c(t) = \cos \omega_c t$ multipliziert und übertragen. Die Demodulation erfolge mit einem frequenzversetzten Träger $d(t) = \cos[(\omega_c + \Delta\omega)t]$ und anschließender Tiefpaßfilterung mit einer Grenzfrequenz von ω_c .

5.1 Welche Modulationsart wurde verwendet?*0,5 P***Zweiseitenband-Modulation****5.2 Geben Sie das modulierte Signal $u_m(t)$ an und berechnen Sie das Spektrum $U_m(j\omega)$!****2 P**

$$\begin{aligned}
 u_m(t) &= u(t) \cdot c(t) \\
 &= A_u \cos(\omega_u t) \cdot \cos(\omega_c t) \\
 &= \frac{A_u}{2} \{ \cos[(\omega_c + \omega_u)t] + \cos[(\omega_c - \omega_u)t] \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_m(j\omega) &= \frac{A_u}{2} \pi \{ \delta[\omega - (\omega_c + \omega_u)] + \delta[\omega + (\omega_c + \omega_u)] \dots \\
 &\quad + \delta[\omega - (\omega_c - \omega_u)] + \delta[\omega + (\omega_c - \omega_u)] \}
 \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 15</p>
---	--	------------------

- *5.3 Bestimmen Sie das demodulierte Signal $u_d(t)$ so, dass keine trigonometrischen Produktterme mehr vorhanden sind!** **1,5 P**

$$\begin{aligned}
 u_d(t) &= u_m(t) \cdot d(t) \\
 &= \frac{A_u}{2} \{ \cos[(\omega_c + \omega_u)t] + \cos[(\omega_c - \omega_u)t] \} \cdot \cos[(\omega_c + \Delta\omega)t] \\
 &= \frac{A_u}{4} \{ \cos[(2\omega_c + \omega_u + \Delta\omega)t] + \cos[(\omega_u - \Delta\omega)t] \dots \\
 &\quad + \cos[(2\omega_c - \omega_u + \Delta\omega)t] + \cos[(-\omega_u - \Delta\omega)t] \}
 \end{aligned}$$

- *5.4 Bestimmen Sie das tiefpassgefilterte Signal $u_{d,TP}(t)$!** **1 P**

Alle Terme größer ω_c fallen durch die Tiefpassfilterung weg:

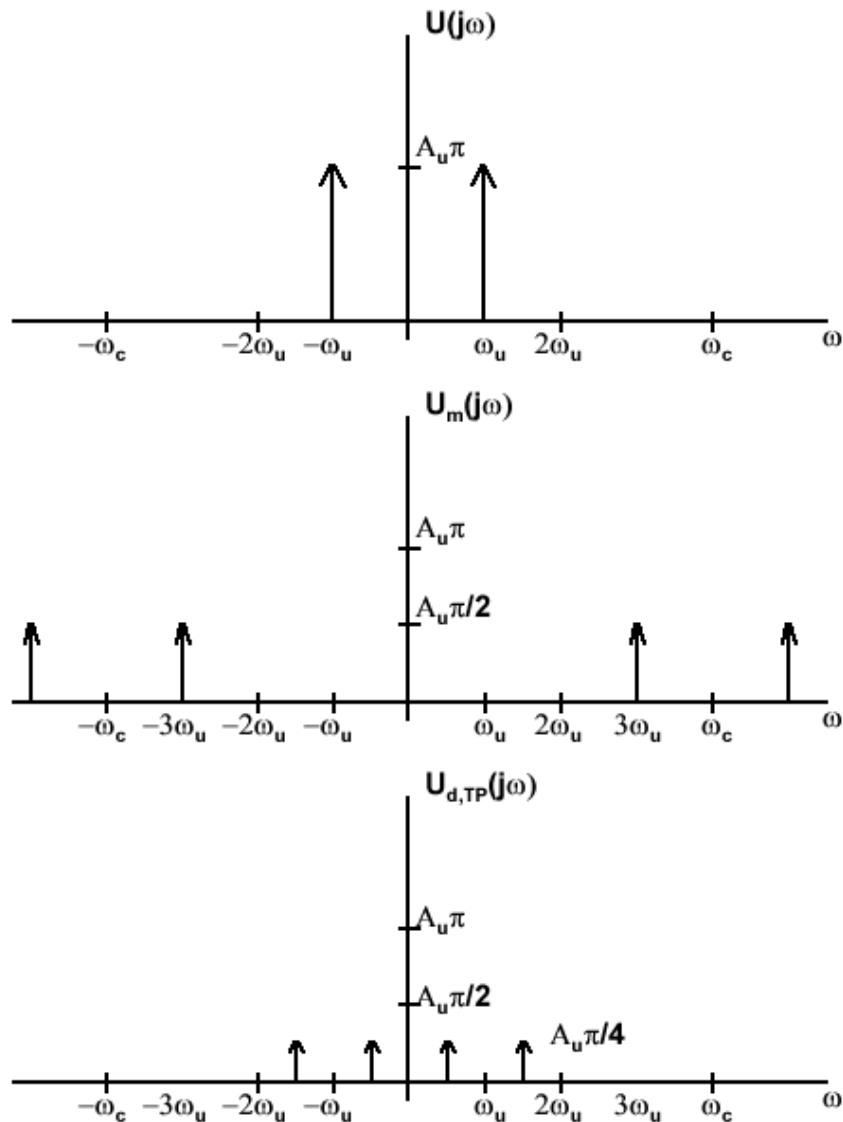
$$u_{d,TP}(t) = \frac{A_u}{4} \{ \cos[(\omega_u - \Delta\omega)t] + \cos[(-\omega_u - \Delta\omega)t] \}$$

- *5.5 Bestimmen Sie das Spektrum $U_{d,TP}(j\omega)$!** **1 P**

$$\begin{aligned}
 U_{d,TP}(j\omega) &= \frac{A_u}{4} \pi \{ \delta[\omega - (\omega_u - \Delta\omega)] + \delta[\omega + (\omega_u - \Delta\omega)] \dots \\
 &\quad + \delta[\omega - (-\omega_u - \Delta\omega)] + \delta[\omega + (-\omega_u - \Delta\omega)] \}
 \end{aligned}$$

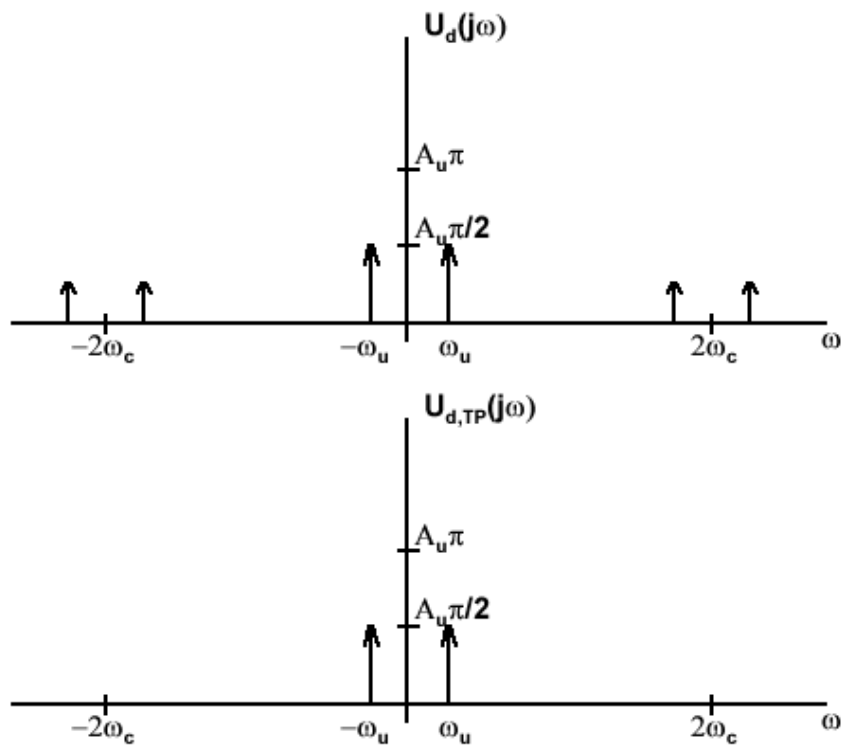
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 16
---	---	-----------

- *5.6 Zeichnen Sie die Spektren $U(j\omega)$, $U_m(j\omega)$ und $U_{d,TP}(j\omega)$ mit den folgenden Beziehungen: $\omega_c = 4 \cdot \omega_u = 8 \cdot \Delta\omega$! 2,5 P



- *5.7 Zeichnen Sie die Spektren $U_d(j\omega)$ und $U_{d,TP}(j\omega)$ für den Fall, dass kein Frequenzversatz bei der Demodulation auftritt ($\omega_c = 4 \cdot \omega_u$ und $\Delta\omega = 0$)! 1,5 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 17</p>
---	---	------------------



6 Binäre Basisbandübertragung

10 Punkte

- 6.1 Wie groß ist die maximale Kanalausnutzung bei einer binären Basisbandmodulation? 1 P

$$\eta = 2 \text{ Bit/s/Hz}$$

- 6.2 Wie lautet die erste Nyquistbedingung im Zeit- und Frequenzbereich? 2 P

$$s(kT) = 1 \text{ für } k = 0 \text{ und } s(kT) = 0 \text{ (sonst)}$$

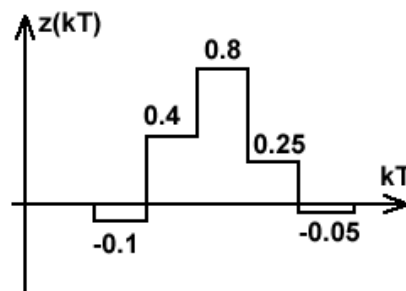
$$A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)} = S(j\omega) * \delta_{\omega T}(\omega) = \text{const.}$$

- 6.3 Wie ist die Datenverzerrung bei Impulsnebensprechen definiert? 1 P

Die Datenverzerrung wird definiert als die Betragssumme aller Vor- und Nachläufer bezogen auf den Hauptwert.

$$D = \frac{1}{|z(kT)|} \cdot \sum_{\forall k \neq 0} |\Delta z(kT)|$$

Gegeben ist die Kanalimpulsantwort:



- 6.4 Berechnen Sie die Datenverzerrung dieser Impulsantwort. 1 P

$$D = (0.1 + 0.4 + 0.25 + 0.05)/0.8 = 1$$

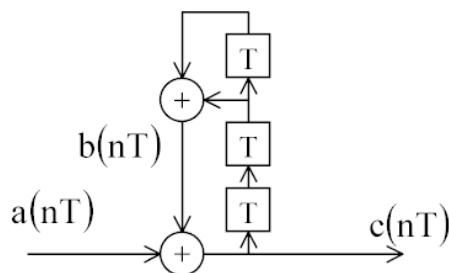
<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 19</p>
---	---	------------------

6.5 Nennen Sie mindestens 3 Gründe für den Einsatz von Leitungscodes!

1,5 P

- *spektrale Formung* \Rightarrow Reduzierung der Kanalbandbreite
- *um Gleichstromfreiheit zu erreichen*
- *Fehlererkennung*
- *Vereinfachung der Taktrückgewinnung beim Empfänger*

Gegeben sei der folgende Scrambler:

6.6 Nach wievielen Takten wiederholt sich die Ausgangsfolge, wenn am Eingang eine **1,0,0,0,...**-Folge anliegt?

1 P

$$2^n - 1 = 7$$

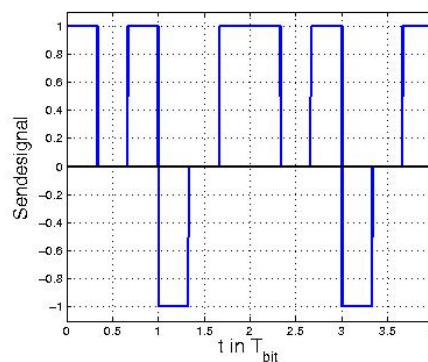
6.7 Nennen Sie zwei Vorteile einer bipolaren Übertragung gegenüber einer unipolaren Übertragung!

1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 20</p>
--	--	------------------

- Da die Entscheidungsschwelle bei der bipolaren Übertragung den Wert Null hat, ist sie amplitudenunabhängig.
- Die Augenblicksleistung ist bei gleicher Bitfehlerwahrscheinlichkeit bei der bipolaren Übertragung kleiner.
- Die Spitzenleistung bei der bipolaren Übertragung ist um den Faktor 4 kleiner als bei unipolarer Übertragung (bei gleicher Bitfehlerwahrscheinlichkeit).

Gegeben sei das folgende Sendesignal (Ausgangssignal eines Sendeformfilters, SFF):



Gesendet wurde eine **1,0,1,0,...**-Folge.

6.8 Bestimmen Sie die normierte Kreuzkorrelation und geben sie an, welche Art der Signalisierung verwendet wurde! 1,5 P

$$\rho_{01} = \frac{1}{E_b} \int_0^{T_{\text{Bit}}} s_0(t) \cdot s_1(t) dt = 0$$

\Rightarrow orthogonale Signalisierung

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 21</p>
---	--	------------------

7 OFDM und Bandspreiz-Übertragungsverfahren 10 Punkte

- 7.1 Aus welchem Grund werden Schutzintervalle bei der OFDM eingesetzt und wie lang sollte ein Schutzintervall mindestens gewählt werden? 2 P

Schutzintervalle verhindern, dass Umwegsignale (Mehrwegeempfang) den ersten Teil des nächsten Symbols beeinflussen. Das Schutzintervall sollte länger sein als die maximal zu erwartende Umlaufzeit.

- 7.2 Erläutern Sie, warum in OFDM-Verfahren der Einsatz von komplexen Entzerrern entfällt! 1 P

Lange Symbolängen führen zu einer Überlappung von Umwegsignalen, die alle das gleiche Symbol repräsentieren.

Beim digitalen Hörfunk (DAB) werden 6 Stereoprogramme zusammengefasst und gemeinsam mit großer Bandbreite ausgestrahlt. Der Datenstrom wird in $N = 1536$ Teildatenströme aufgeteilt. Der Frequenzabstand der Träger ist $\Delta f = 1 \text{ kHz}$ und die Länge eines Schutzintervalls ist $T_S = 246 \text{ } \mu\text{s}$.

- 7.3 Bestimmen Sie die Symboldauer T_N und die erforderliche Bandbreite bei der Übertragung? 2 P

$$\Delta f = \frac{1}{T_N - T_S} = 1 \text{ kHz} \rightarrow T_N = 1.246 \text{ ms}$$

$$B_K = 1536 \cdot 1 \text{ kHz} \approx 1.5 \text{ MHz}$$

- 7.4 Nennen Sie drei Vorteile von Bandspreizverfahren! 1.5 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 22
---	---	-----------

- *robust gegen sinus- und rauschförmige Störungen*
- *Sie ermöglichen eine Übertragung mit sehr schwachem Pegel*
- *Verschleierung (Abhörsicherheit)*
- *zeit- und frequenzgleiche Übertragung mehrerer Nutzer möglich (CDMA)*
- *Reduzierung der Bitfehlerwahrscheinlichkeit*

7.5 Welchen wesentlichen Nachteil von Bandspreizverfahren kennen Sie? 0.5 P

- *erhöhte Bandbreite*
- *erhöhte Komplexität*

7.6 Erläutern Sie das Prinzip der Bandspreizung in CDMA-Multiplexverfahren! 3 P

siehe Skript

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 23
---	---	-----------

8 Frequenzumtastung (FSK)*10 Punkte**

Bei einer binären Übertragung werde mittels FSK moduliert und mit einer Bitrate von $R = 4800$ Bit/s Daten gesendet. Die Trägerfrequenz sei $f_c = 48$ kHz. Die Bitenergie E_b betrage 10^{-3} V²s. Das Signal werde beim Empfänger synchron demoduliert. Gegeben seien die beiden Sendesignale $d_{m,0}(t)$ und $d_{m,1}(t)$ mit:

$$d_m = \begin{cases} A \cdot \cos(\omega_0 t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(\omega_c t - \Delta\omega_c t) & \text{für } b(kT_b) = 0 \\ A \cdot \cos(\omega_1 t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\omega_c t) & \text{für } b(kT_b) = 1 \end{cases}$$

***8.1 Berechnen Sie allgemein die normierte Kreuzkorrelation ρ_{01} der Sendesignale! 2,5 P**

$$\begin{aligned} \rho_{01} &= \frac{1}{E_b} \int_0^{T_b} d_{m,0}(t) \cdot d_{m,1}(t) dt \\ &= \frac{1}{E_b} \int_0^{T_b} \frac{2E_b}{T_b} \cos(\omega_c t - \Delta\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\omega_c t) dt \\ &= \frac{2}{T_b} \int_0^{T_b} \frac{1}{2} [\cos(2\omega_c t) + \cos(2\Delta\omega_c t)] dt \\ &= \frac{1}{T_b} \left[\frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c t) \Big|_0^{T_b} + \frac{1}{2\Delta\omega_c} \sin(2\Delta\omega_c t) \Big|_0^{T_b} \right] \\ &= \frac{1}{2\omega_c T_b} \sin(2\omega_c T_b) + \frac{1}{2\Delta\omega_c T_b} \sin(2\Delta\omega_c T_b) \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 24</p>
---	---	------------------

***8.2** Wie groß ist der Frequenzhub Δf_c für die optimale FSK (minimales ρ_{01}) **1,5 P**
bei gleicher Trägerfrequenz?

$$\text{si}(2\Delta\omega_c T_b) = -0,217$$

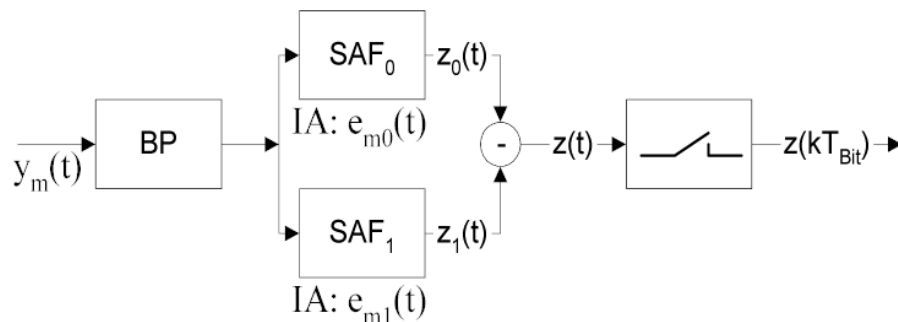
$$2\Delta\omega_c T_b = 1,4303\pi$$

$$\Delta f_c = 1,4303 \cdot \frac{R}{4}$$

$$= 1,4303 \cdot 1200 \text{ Hz} = 1716,36 \text{ Hz} \approx 1700 \text{ Hz}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 25
---	---	-----------

Gegeben sei der folgende FSK-Empfänger:



- *8.3 Bestimmen Sie allgemein das Ausgangssignal des unteren Zweiges des SAF zum Abtastzeitpunkt $t = T_{\text{Bit}}$ unter der Annahme, dass eine '0' gesendet wurde und keine Kanalstörungen auftreten!** **2,5 P**

$$\begin{aligned}
 z_1(t) &= d_{m,0}(t) * e_{m,1}(t) \\
 &= \int_0^{T_{\text{Bit}}} d_{m,0}(\tau) \cdot e_{m,1}(t - \tau) d\tau \\
 &= \int_0^{T_{\text{Bit}}} d_{m,0}(\tau) \cdot d_{m,1}(T_{\text{Bit}} - t - \tau) d\tau
 \end{aligned}$$

Zum Abtastzeitpunkt $t = T_{\text{Bit}}$ ergibt sich:

$$\begin{aligned}
 z_1(T_{\text{Bit}}) &= \int_0^{T_{\text{Bit}}} d_{m,0}(\tau) \cdot d_{m,1}(-\tau) d\tau \\
 &= \rho_{01} \cdot E_b
 \end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 26
---	---	-----------

- *8.4 Bestimmen Sie das Ausgangssignal des gesamten SAF (oberer und unterer Zweig) $z(T_{\text{Bit}})$ zum Abtastzeitpunkt T_{Bit} für die optimale FSK für die gleichen Annahmen wie in der vorigen Teilaufgabe!** **2,5 P**

$$z_1(T_{\text{Bit}}) = \rho_{01} \cdot E_b$$

$$\begin{aligned} z_0(T_{\text{Bit}}) &= \int_0^{T_{\text{Bit}}} d_{m,0}(\tau) \cdot d_{m,0}(-\tau) d\tau \\ &= E_b \end{aligned}$$

Oberer und unterer Zweig zusammengefasst:

$$\begin{aligned} z(T_{\text{Bit}}) &= z_0(T_{\text{Bit}}) - z_1(T_{\text{Bit}}) \\ &= E_b - \rho_{01} \cdot E_b \\ &= 1,217 \cdot E_b = 1,217 \cdot 10^{-3} \text{V}^2 \text{s} \end{aligned}$$

- *8.5 Welchen Vorteil hat die FSK gegenüber einer ASK und welchen wesentlichen Vorteil bietet die MSK?** **1 P**

FSK vs. ASK: geringere Bitfehlerwahrscheinlichkeit

MSK: geringer Bandbreitebedarf

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 27
---	---	-----------