

Nachrichtenübertragung

(Vorlesung I + II und Rechenübung I + II)

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name:

Vorname:

Matr.Nr:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> E-Technik | <input type="checkbox"/> HF |
| <input type="checkbox"/> Techn. Inf. | <input type="checkbox"/> SF |
| <input type="checkbox"/> Magister | <input type="checkbox"/> VF |
| | <input type="checkbox"/> 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 26.02.2004	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

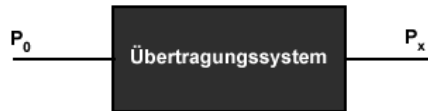
1	Störungen und Störreduktion	3
2	Amplitudenmodulation (AM)	6
3	PAM	9
4	Kanalcodierung	12
5	PCM	14
6	Binäre Basisbandübertragung	18
7	Binäre Modulation - Bandspreizverfahren	21
8	Frequenzumtastung (FSK)	23

1 Störungen und Störreduktion

10 Punkte

Pegel und Dämpfung

- 1.1 Gegeben sei folgendes allgemeines Übertragungssystem, wobei P_0 die Leistung am Eingang und P_x die Leistung am Ausgang darstellen: 3 P



- a) Wie sind Dämpfungsmaß a und relativer Leistungspegel L_x definiert und in welchem Verhältnis stehen sie zueinander? 1,5 P

$$a = 10 \lg \frac{P_0}{P_x} \text{ dB}$$

$$L_x = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} \text{ dB}$$

$$L_x = -a$$

- b) Wie bestimmen sich der absolute Leistungspegel und der absolute Spannungspegel in [dBm]? Woher stammen die Bezugsgrößen? 1,5 P

$$L_{abs} = 10 \lg \frac{P_x}{1 \text{ mW}} \text{ dBm}$$

$$p_{abs} = 20 \lg \frac{U_x}{0,775 \text{ V}} \text{ dBm}$$

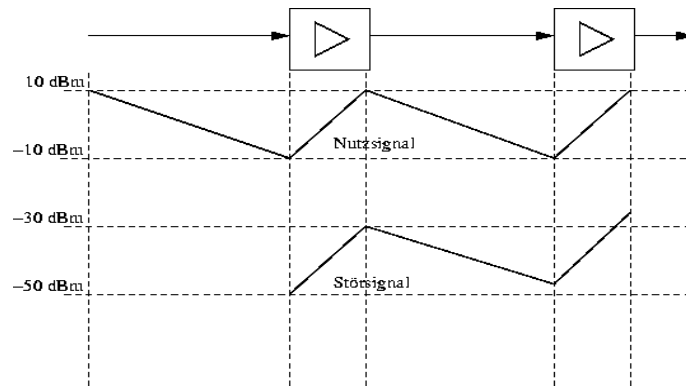
Kohlemikrofone ($R=600 \text{ Ohm}$) geben eine Leistung von 1 mW ab. Es ergibt sich eine Spannung von $0,775 \text{ V}$.

Pegeldiagramme

- 1.2 Eine Übertragungsstrecke sei 20 km lang. Jeweils zur Hälfte und am Ende befinde sich ein Verstärker, der die Leitungsverluste voll ausgleicht. Die kilometrische Dämpfung betrage 2 dB/km . Das Eingangssignal habe einen Pegel von 10 dBm . Auf beiden Streckenabschnitten werde eine Rauschleistung von -50 dBm eingepreist. 3 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 3
---	---	----------

- a) Zeichnen Sie das zugehörige Pegeldiagramm! (Tragen sie die Leistungspegel (in dBm) von Nutz- und Störsignal in das Diagramm ein!) 2 P



- b) Wie groß ist der Signal-Rauschabstand SNR_A nach dem zweiten Verstärker? (Hinweis: $\lg 2 \approx 0,3$) 1 P

Der SNR_A nach dem zweiten Verstärker ist gleich dem SNR_A vor dem zweiten Verstärker.

$$SNR_A = L_{\text{Signal}} [\text{dBm}] - L_{N,\text{gesamt}} [\text{dBm}]$$

$$L_{N,\text{gesamt}} = 10 \lg\left(\frac{2 \cdot P_{N,\text{Teil}}}{1 \text{ mW}}\right) = 10 \lg(2) + 10 \lg\left(\frac{P_{N,\text{Teil}}}{1 \text{ mW}}\right) = 3 [\text{dB}] + L_{N,\text{Teil}}$$

$$L_{N,\text{gesamt}} = -47 [\text{dBm}]$$

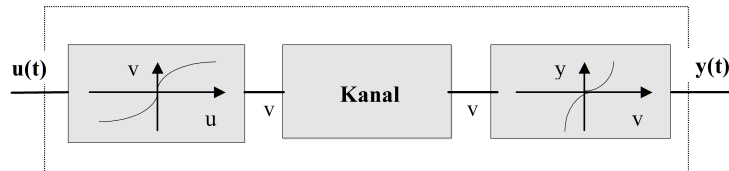
$$SNR_A = -10 [\text{dBm}] + 47 [\text{dBm}] = 37 [\text{dB}]$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 4</p>
---	---	-----------------

Kompandierung

1.3 Zur Übertragung von Signalen über einen Kanal wird oft eine analoge Kompandierung durchgeführt. 2 P

a) Zeichnen Sie das Blockschaltbild einer solchen Übertragung und beschreiben sie die einzelnen Blöcke kurz! 1,5 P



Kompression: Anhebung kleiner Signalamplituden und Einschränkung großer Signalamplituden

Kanal: Übertragungsstrecke

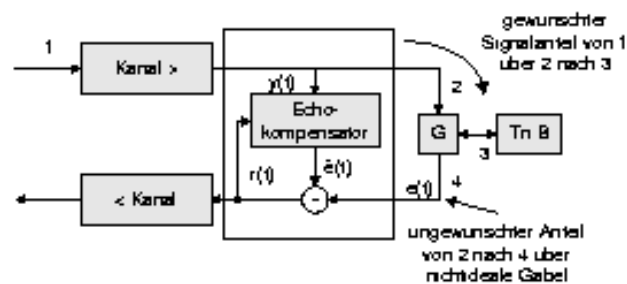
Expansion: zur Kompression inverse Veränderung der Signalamplituden

b) Warum wird die Kompandierung eingesetzt? 0,5 P

um zu vermeiden, dass Nachrichtenanteile mit geringer Signalamplitude vom Rauschanteil eines gestörten Kanals überdeckt werden

Echokompensation

1.4 Zeichnen Sie das Prinzipschaltbild einer adaptiven Echokompensation! Bezeichnen Sie dabei die wichtigen Signale und erläutern Sie den Ansatz, der zur adaptiven Echokompensation genutzt wird! 2 P



Der adaptive Ansatz minimiert den quadratischen Fehler des hinter der Kompensation auftretenden Restechos mit Hilfe eines Transversalfilters.

$$\min Q(kT) = \min r^2(kt) = \min (e(kT) - \hat{e}(kT))^2$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	---	-----------------

2 Amplitudenmodulation (AM)

10 Punkte

- 2.1 Nennen sie drei wesentliche Gründe, warum eine Modulation zur Übertragung eines Nachrichtensignals vorgenommen wird! 1,5 P

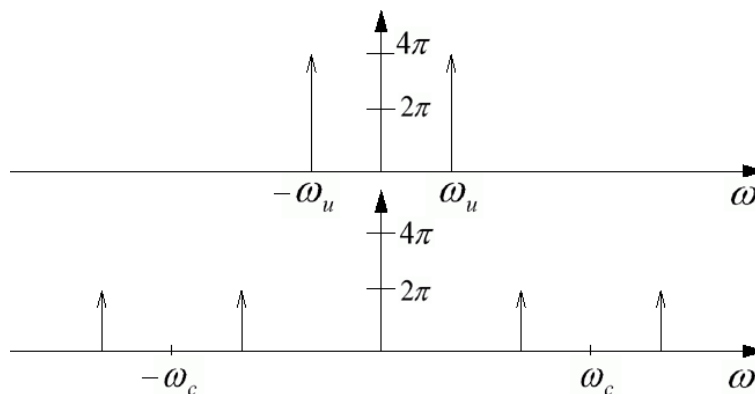
- Übertragung in Frequenzbereich mit günstigen Übertragungseigenschaften
- größere Reichweite bei drahtloser Übertragung
- verringerte Antennenabmessungen bei drahtloser Übertragung
- Verringerung der relativen Bandbreite, somit geringere Anforderungen an Verstärker und Antennen

Zweiseitenbandmodulation (ZSB)

- 2.2 Das Signal $u(t) = 4 \sin(\omega_u t)$ soll mittels ZSB Modulation übertragen werden. Die Carrier - Frequenz ω_c betrage $\omega_c = 3\omega_u$. 4 P

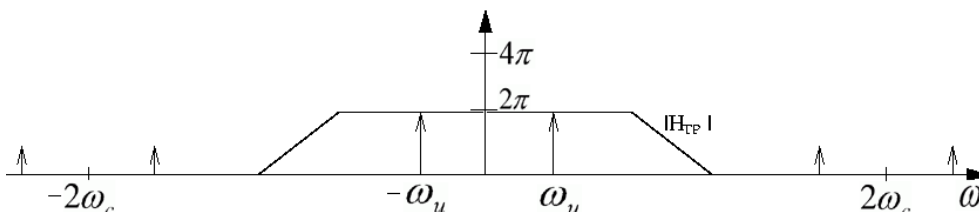
- a) Zeichnen Sie das Betragsspektrum des Signals vor **und** nach der der Modulation! 1 P

(Beschriften Sie die Amplitudenwerte genau!)



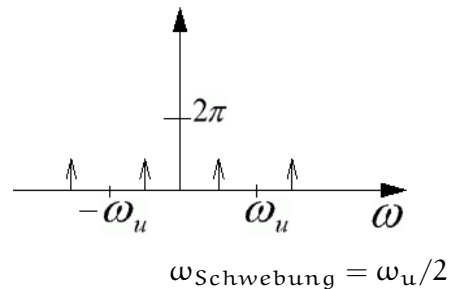
- b) Zeichnen Sie das Betragsspektrum des synchron demodulierten Signals vor der abschließenden Tiefpassfilterung! Tragen Sie in die Zeichnung den Frequenzgang eines solchen Tiefpasses ein! 1,5 P

(Beschriften Sie die Amplitudenwerte genau!)



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 6</p>
---	--	-----------------

- c) Zeichnen Sie das Betragsspektrum nach einer synchronen Demodulation mit Frequenzversatz $\Delta\omega_c = \omega_u/2$ und idealer Tiefpassfilterung ($\omega_g = \omega_c$)! Wie groß ist die Frequenz der entstandenen Schwebung? 1,5 P



AM mit Träger

- 2.3 Das Signal aus Aufgabe 2.2 soll nun bei gleicher Carrier-Frequenz mittels AM mit Träger übertragen werden. 2 P

- a) Wie groß muss die Amplitude des Trägers mindestens sein, dass das Signal mittels Einhüllendendemodulation auf der Empfängerseite demoduliert werden kann? 0,5 P

$$A_{\min} = 4$$

- b) Die Amplitude sei nun $A_c = 8$. Welcher Teil der übertragenen Gesamtleistung des modulierten Signals liegt in den Seitenbändern? 1,5 P

$$A_{\min} = 8, \text{ also } m = \frac{1}{2}$$

$$\frac{P_{\text{Seite}}}{P_{\text{Träger}}} = \frac{m^2}{2} = \frac{1}{8}$$

$$P_{\text{ges}} = P_{\text{Seite}} + P_{\text{Träger}} = P_{\text{Seite}} + 8P_{\text{Seite}}$$

$$\frac{P_{\text{Seite}}}{P_{\text{ges}}} = \frac{1}{9}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 7
---	---	----------

Einseitenbandmodulation

2.4 Welche zwei Verfahren zur Einseitenbandmodulation gibt es? Beschreiben Sie diese kurz! 2 P

1. Selektionsverfahren: mit Hilfe eines Filters hoher Güte wird eine der beiden Lagen eines AM-modulierten Signales herausgefiltert

2. Phasenmethode: mit Hilfe der Hilberttransformation wird bei der Quadraturkomponente eine 90-grad Phasendrehung erzeugt und zur Inphasen-Komponente addiert, so dass sich die oberen Seitenbänder auslöschen.

2.5 Wie groß ist der Bandbreitenbedarf B_{K_m} bei der ESB im Vergleich zur Bandbreite B_Q des unmodulierten Signales? 0,5 P

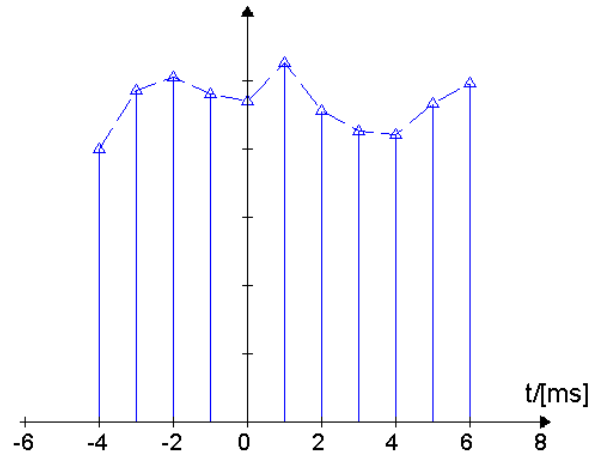
$$B_{K_m} = B_Q$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 8
---	---	----------

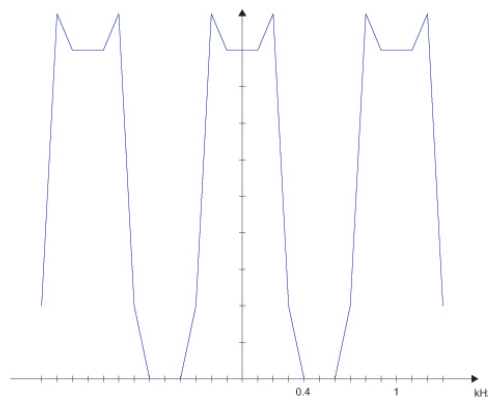
3 PAM

10 Punkte

3.1 In der folgenden Grafik ist ein ideal abgetastetes PAM Signal gegeben. 2 P



Unten ist das Spektrum des Originalsignals gegeben. Bestimmen Sie die Bandbreite des Signals, bestimmen Sie die Abtastfrequenz f_T . Zeichnen Sie in das unten gegebene Diagramm das Spektrum des abgebildeten PAM-Signals ein und beschriften Sie es vollständig!

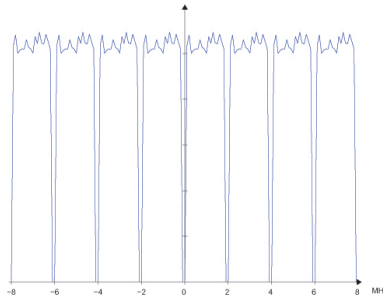


3.2 Das Originalsignal soll aus der abgetasteten Version zurückgewonnen werden. Hierfür wird ein Tiefpassfilter verwendet. Geben Sie die Breite des maximal zulässigen Übergangsbereiches für diesen Tiefpass an!

200 Hz

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 9</p>
---	---	-----------------

- 3.3 Gegeben ist ein bandbegrenztetes Signal mit $f_{\min} = 2\text{MHz}$ und $f_{\max} = 4\text{MHz}$. Es wird mit 2MHz ideal abgetastet. Zeichnen Sie das Spektrum des abgetasteten Signals zwischen -8MHz und 8MHz !



- 3.4 Erklären Sie die nichtidealen Abtastverfahren Signalausblendung und Signalverbreiterung in Worten! Illustrieren Sie ihre Erklärung mit vollständig beschrifteten Zeichnungen eines zeitkontinuierlichen Signals $u(t)$, einer mit Signalausblendung abgetasteten Version $u_{sa}(t)$ und einer mit Signalverbreiterung abgetasteten Version $u_{sv}(t)$! Nehmen Sie dazu an, dass die Abtastung mit einer Periode T erfolgt!

Skript Seiten 238-239, Bilder 7.9 und 7.11

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 10
---	---	-----------

- 3.5 Geben Sie $u_{sv}(t)$ und $u_{sa}(t)$ jeweils als Funktion von $u(t)$, der periodischen Deltafunktion $\delta_T(t)$ und der Rechteckfunktion $\Pi_{\alpha T}$ an! 2 P

$$u_{sa}(t) = u(t)\Pi_{\alpha T} * \delta_T(t)$$

$$u_{sv}(t) = [u(t)\delta_T(t)] * \Pi_{\alpha T}$$

- 3.6 Gegeben sei ein Signal mit Spektrum $U(j\omega) = \Pi_{\omega_T/2}$. Das Signal werde nun einmal mit Signalausblendung und einmal mit Signalverbreiterung abgetastet. Zeichnen Sie die Spektren, die durch die beiden Arten der Abtastung entstehen! Stellen Sie eventuell auftretende Verzerrungen deutlich dar! 2 P

Skript Seiten 239-240 Bilder 7.10 und 7.12

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 11
---	---	-----------

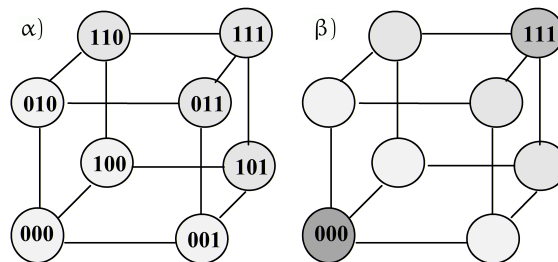
4 Kanalcodierung

10 Punkte

Codeabstand, Fehlererkennung und -korrektur

4.1 Gegeben seien zwei (n, k) -Blockcodes mit maximal möglichem Codeabstand 5 P d_{\min} : $\alpha)$ $n = 3, k = 3$ und $\beta)$ $n = 3, k = 1$

a) Zeichnen Sie für beide Codes den vollständigen Coderaum (3-dimensional) und bezeichnen sie die zulässigen Codewörter in binärer Form! 2 P



b) Wieviele Bitfehler können jeweils maximal erkannt und korrigiert werden? 1,5 P

 $\alpha)$ Es können 0 Fehler erkannt und 0 Fehler korrigiert werden. $\beta)$ Es können maximal 2 Fehler erkannt oder 1 Fehler erkannt und korrigiert werden.c) Geben Sie an, ob die Codes zyklisch sind und wie groß die Coderate r ist! 1,5 P $\alpha)$ zyklisch, $r = 1$ $\beta)$ hier zyklisch (hängt von Wahl der beiden Codewörter ab), $r = 1/3$ 4.2 Welche maximale Coderate r kann ein $(15, k)$ -Code haben, um genau 1 Fehler korrigieren zu können? 2 PEs gibt genau $z = \sum_{i=0}^1 \binom{n}{i} = 16$ Codewörter innerhalb einer Korrekturkugel.Da es insgesamt 2^k Korrekturkugeln gibt, muss es mindestens $z \cdot 2^k$ Codewörter im Code geben:

$$2^n \geq z \cdot 2^k$$

$$2^{n-k} \geq z$$

$$k \leq n - \text{ld}(z), \text{ also } k_{\max} = 15 - 4 = 11$$

$$r_{\max} = k_{\max}/n = 11/15$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 12
--	---	-----------

- 4.3 Wieso werden bei kleinen Codewortlängen n nur sehr geringe Verbesserungen der Bitfehlerwahrscheinlichkeit durch eine Kanalcodierung erzielt, wenn kein zusätzlicher Kanal für die Übermittlung der Prüfbits verwendet werden kann? 1,5 P

Wenn kein zusätzlicher Kanal verwendet wird, erhöht sich mit der Anzahl der Prüfbits die Bitrate $R_{KC} = R/r$ und dementsprechend verringert sich die Bitlänge $T_{Bit,KC} = r \cdot T_{Bit}$. Deshalb verringert sich die Bitenergie $E_{b,KC} = r \cdot E_b$, was eine größere Kanal-Bitfehlerwahrscheinlichkeit zur Folge hat. Dieses Verhalten wirkt einer Verbesserung des Kanals durch die Codierung an sich entgegen. Es ist daher nur bei hohen n und geringer Coderate r sinnvoll eine Kanalcodierung durchzuführen!

Zyklische Codes

- 4.4 Gegeben sei ein nicht systematischer zyklischer $(7,4)$ - Code. Das Generatorpolynom sei $g_2(D) = 1 \oplus D^2 \oplus D^3$. Berechnen Sie den Codevektor a für die Codierung des Informationsvektors $i = (1101)$! 1,5 P

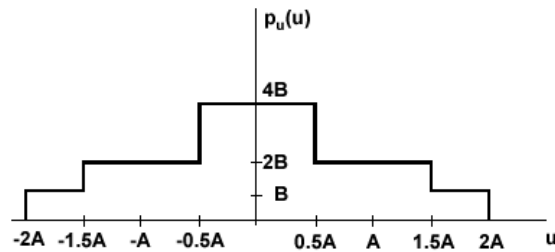
$$i(D) = 1 \oplus D \oplus D^3, \text{ somit } a(D) = i(D) \cdot g_2(D)$$

$$a(D) = 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4 \oplus D^5 \oplus D^6, \text{ also } a = (1111111).$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

5 PCM*10 Punkte**

Gegeben sei die folgende Amplitudendichteverteilung (ADV) eines Nachrichtensignals:



***5.1 Berechnen Sie B, den Mittelwert μ_u und die Leistung P_u !**

3 P

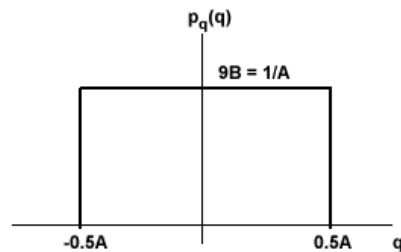
$$\begin{aligned}
 \int_{-\infty}^{\infty} p_u(u) \, du &= 1 \\
 &= 2 \cdot (2AB + 2AB + 0,5AB) \\
 &= 9AB \Rightarrow B = \frac{1}{9A}
 \end{aligned}$$

$$\mu_u = 0 \quad (\text{da ADV symmetrisch um } 0)$$

$$\begin{aligned}
 P_u &= \int_{-\infty}^{\infty} p_u(u) \cdot u^2 \, du \\
 &= 2 \cdot \int_0^{2A} p_u(u) \cdot u^2 \, du \\
 &= \frac{93}{12} A^3 B \\
 &= \frac{31}{36} A^2
 \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 14</p>
---	---	------------------

- *5.2 Skizzieren Sie die ADV des Quantisierungsfehlers bei einer gleichförmigen, 4-stufigen und optimal ausgesteuerten Quantisierung ($u_{\max} = 2A$; midriser-Quantisierer)! 1,5 P



- *5.3 Berechnen Sie die Quantisierungsfehlerleistung P_q und den SNR! 1,5 P

$$\begin{aligned}
 P_q &= \int_{-\infty}^{\infty} p_q(u) \cdot q^2 \, dq \\
 &= 2 \cdot \int_0^{0.5A} p_q(q) \cdot q^2 \, dq \\
 &= 2 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{A} \cdot \frac{1}{8} A^3 \\
 &= \frac{1}{12} A^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SNR} &= 10 \cdot \log_{10} \frac{P_u}{P_q} \\
 &= 10 \cdot \log_{10} \frac{31}{3} \\
 &\approx 10 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 15</p>
---	---	------------------

Zusätzlich zu den Quantisierungsfehlern treten nun Kanalfehler auf.

- *5.4 Welche Quantisiererwertsprünge δ_i können bei Einzelfehlern (erstes oder zweites Bit ist fehlerhaft) auftreten, wenn eine NBC-Codierung vorgenommen wurde (NBC = natural binary code)?** **1 P**

$$\delta_1 = 2A \quad (\text{Fehler im MSB})$$

$$\delta_2 = A \quad (\text{Fehler im LSB})$$

Gegeben sei nun eine Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p = 5 \cdot 10^{-2}$

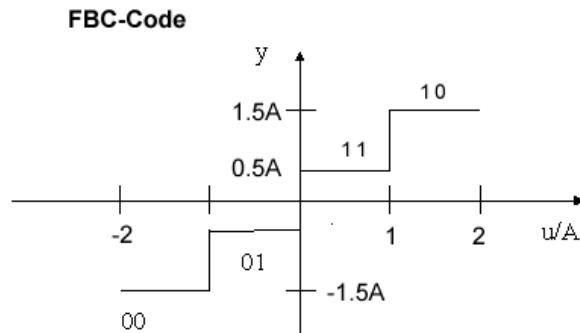
- *5.5 Berechnen Sie die Fehlerleistung P_{Kanal} und den Gesamt-SNR (inkl. Quantisierungsrauschen), wenn nur Einzelfehler auftreten können!** **1,5 P**

$$\begin{aligned} P_{\text{Kanal}} &= \sum_{i=1}^2 \delta_i^2 \cdot P(\delta_i) \\ &= 4A^2 \cdot p + A^2 \cdot p = 0,25 A^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= 10 \cdot \log_{10} \frac{P_u}{P_q + P_{\text{Kanal}}} \\ &= 10 \cdot \log_{10} \frac{\frac{31 A^2}{36}}{\frac{1 A^2}{12} + 0,25 A^2} \\ &= 10 \cdot \log_{10} \frac{31}{12} = 4,12 \text{ dB} \end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 16
---	---	-----------

- *5.6 Zeichnen Sie die Quantisierungskennlinie des 4-stufigen midriser-Quantisierers mit einem FBC-Code (folded binary code) ein und begründen Sie, warum bei Kanalfehlern ein FBC-Code sinnvoller als ein NBC-Code gewesen wäre! 1,5 P



In der ADV sind kleinere Amplituden häufiger vorhanden als größere, d.h. mit einem FBC-Code würden die Kanalfehler kleinerer Amplituden geringer gehalten werden als beim NBC-Code. Der größere Quantisiererwertsprung von $4A$ (MSB fehlerhaft) bei großen Amplitudenwerten fällt wegen der geringen ADV-Werte nicht mehr so ins Gewicht.

<p style="text-align: center;">Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p style="text-align: center;">Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p style="text-align: center;">Blatt: 17</p>
--	--	--

6 Binäre Basisbandübertragung**10 Punkte**

- 6.1 Formulieren Sie die erste Nyquistbedingung im Zeit- und Frequenzbereich! 2 P

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

$$S(j\omega) * \delta_{\omega_T}(\omega) = \text{const}$$

- 6.2 Wie heißt die Art der Störung, die auftritt, wenn die erste Nyquistbedingung nicht erfüllt ist? 1 P

ISI, Inter-Symbol-Interference, Impulsinterferenz, Impulsnebensprechen.

- 6.3 Wenn die erste Nyquistbedingung erfüllt ist, dann können die eigentlichen Signalelemente durch Nachabtastung trotz überlappender Sendeimpulse am Empfänger zurückgewonnen werden, wenn ein idealer Kanal angenommen wird. Wie muss dazu die Abtastung am Empfänger erfolgen? 1 P

synchron

- 6.4 Angenommen, der Kanal hat keine ideale Übertragungsfunktion, sondern eine nichtideale Übertragungsfunktion $H(j\omega)$. 2 P

- a) Wie kann dem entgegengewirkt werden, damit am Empfänger die ursprünglichen Signalelemente durch Nachabtastung zurückgewonnen werden können? 1 P

Einsatz eines Entzerrers.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 18</p>
--	--	------------------

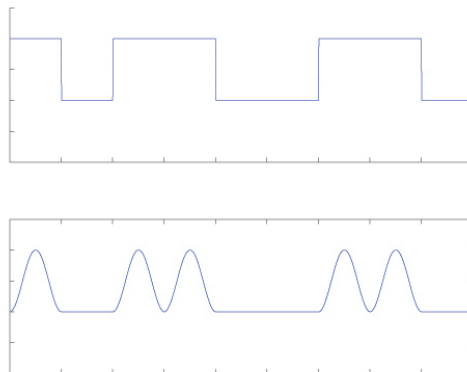
- b) Für welche Gesamtübertragungsfunktion muss dann die erste Nyquistbedingung gelten? 1 P

$$H(j\omega)_{ges} = S(j\omega)H(j\omega)E(j\omega)$$

Damit ist die Nyquistbedingung

$$h(kT)_{ges} = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

- 6.5 Gegeben sei die Datenfolge {101100110}. Sie soll auf zwei verschiedenen Wegen binär Übertragen werden: einmal mit einem unipolarem Rechteck als Sendeimpuls und ein zweites Mal mit einem anderen unipolaren Sendeimpuls. Beide Sendeimpulse haben die gleiche Dauer. Das zweite Signal soll so gewählt werden, dass zur Übertragung eine geringere Bandbreite notwendig ist als beim ersten. Zeichnen Sie die beiden entstehenden analogen Datensignale! 2 P



- 6.6 Von welchen zwei Größen hängt die zur Basisbandübertragung der binären Signale erforderliche Bandbreite ab? Formulieren Sie den Zusammenhang in einer Gleichung! 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 19</p>
---	--	------------------

Von der Bitrate R_{Bit} und dem Flankenfaktor ρ .

$$B \simeq \frac{R_{\text{Bit}}}{2} \cdot (1 + \rho)$$

6.7 Wie lässt sich daraus auch die Kanalausnutzung η ableiten?

1 P

$$\eta = \frac{R_{\text{Bit}}}{B} = \frac{2}{1 + \rho}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 20
---	---	-----------

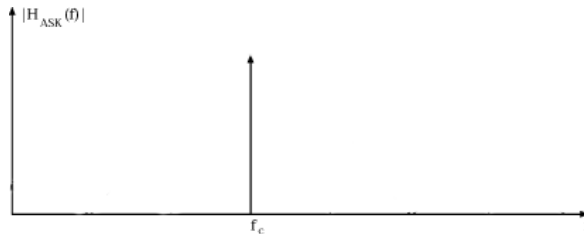
7 Binäre Modulation - Bandspreizverfahren

10 Punkte

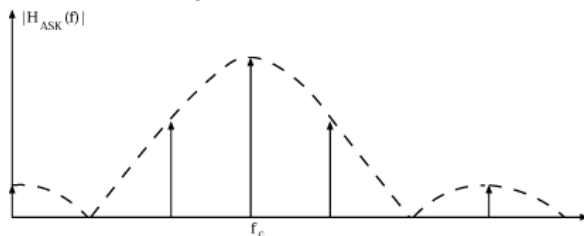
Amplitudentastung (ASK)

7.1 Skizzieren Sie das Spektrum eines ASK-modulierten Signals, wenn das zu übertragende Basisbandsignal

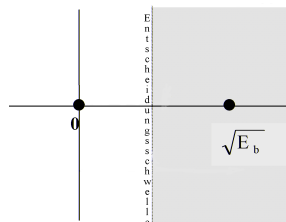
a) eine Dauer 1-Folge darstellt! 1 P



b) eine periodische 1,0 - NRZ Folge ist! 2 P



7.2 Stellen Sie den Signalraum für eine ASK - Übertragung dar und tragen Sie die Entscheidungsschwelle in das Diagramm ein! 1 P



Mehrwertige Modulation

7.3 Wie groß ist die maximale Kanalausnutzung $R_{\text{Bit}}/B_{\text{Kanal}}$ bei einer 16-wertigen Modulation? 1,5 P

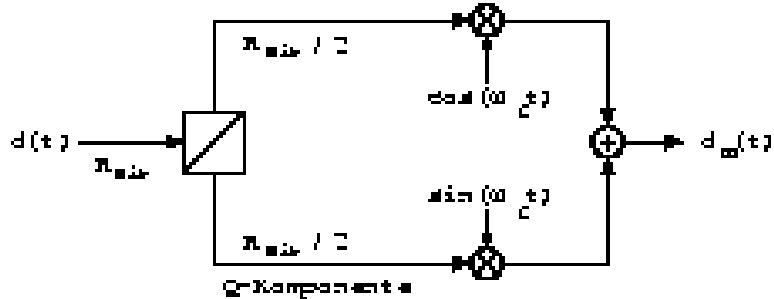
$$M = 16 = 2^m$$

$$\left(\frac{R_{\text{Bit}}}{B_{\text{Kanal}}} \right)_{\text{max}} = 2m \frac{\text{Bit}}{\text{s} \cdot \text{Hz}} = 2 \log_2 M \frac{\text{Bit}}{\text{s} \cdot \text{Hz}} = 8 \frac{\text{Bit}}{\text{s} \cdot \text{Hz}}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 21
---	---	-----------

7.4 QPSK 2,5 P

a) Stellen Sie das Prinzipschaltbild eines QPSK - Codierers dar und erläutern Sie kurz die Codierung eines Dibits! 2 P



Die Binärdaten werden Dibitweise codiert. Das jeweils erste Bit (I-Bit) wird mit einem cos-Träger, das zweite (Q-Bit) mit einem phasensynchronen sin-Träger moduliert. Die Ausgänge beider Modulationen werden zum QPSK - Signal addiert.

b) Wie groß ist der Bandbreitenbedarf im Vergleich zur 2-PSK? 0,5 P

$$B_{\text{QPSK}} = \frac{1}{2} B_{2\text{-PSK}}$$

Bandspreizverfahren

7.5 Nennen und beschreiben Sie zwei wesentliche Techniken der Bandspreizung! 2 P

Direct-Sequence-Verfahren: Nutzsinal wird mit Spreizsignal multipliziert und moduliert (auch CDMA Verfahren)

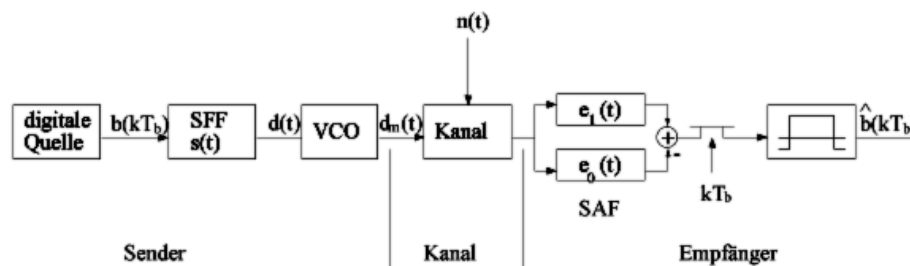
Frequenzsprungverfahren: (auch FDMA) Binärsignal wird mit unterschiedlichen Frequenzen moduliert, die sich mit der hop-rate ändern

Zeitsprungverfahren: (auch TDMA) Zeitachse wird in Intervalle geteilt mit 2^K Zeitschlitzzen; Nutzsinal wird in einem oder mehreren dieser Zeitschlitzze übertragen

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 22</p>
---	---	------------------

8 Frequenzumtastung (FSK)*10 Punkte**

Bei einer binären Übertragung werde mittels FSK moduliert und mit einer Bitrate von $R = 2400$ Bit/s Daten gesendet. Die Trägerfrequenz sei $f_c = 48$ kHz, der Frequenzhub $\Delta f_c = 12$ kHz. Die Bitenergie E_b betrage $\frac{1}{3} \cdot 10^{-2} \text{ V}^2 \text{ s}$. Das Signal werde beim Empfänger synchron demoduliert. Gegeben sei die folgende digitale Übertragungsstrecke:



- *8.1 Wie groß ist der Bandbreitebedarf im Basisband bei einem Roll-off von $r = 0$? Welche Kanalbandbreite B_{K_m} ist näherungsweise erforderlich? Handelt es sich um Schmalband- oder Breitband-FSK? 2 P

$$B_{K_b} = \frac{R}{2} (1 + r) = 1200 \text{ Hz}$$

$$\begin{aligned} B_{K_m} &\approx 2 \cdot \Delta f_c, \text{ da } \Delta f_c \gg \frac{R}{2} \\ &\approx 24000 \text{ Hz} \Rightarrow \text{Breitband-FSK} \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 23</p>
---	---	------------------

Gegeben seien die beiden Sendesignale $d_{m,0}(t)$ und $d_{m,1}(t)$ mit:

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

***8.2 Berechnen Sie die Amplitude A der Sendesignale!**

1 P

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} = \sqrt{\frac{2E_b}{1/R}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-2} \text{V}^2 \text{s} \cdot 2400}{3 \cdot \text{s}}} = 4 \text{ V} \end{aligned}$$

***8.3 Geben Sie die Impulsantworten $e_0(t)$ und $e_1(t)$ des signalangepassten Filters (SAF) an!**

1 P

$$\begin{aligned} e_0(t) &= d_{m,0}(T_b - t) \\ &= A \cdot \cos[\omega_0(T_b - t)] \\ e_1(t) &= d_{m,1}(T_b - t) \\ &= A \cdot \cos[\omega_1(T_b - t)] \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p>Blatt: 24</p>
---	---	------------------

- *8.4 Berechnen Sie die normierte Kreuzkorrelation ρ_{01} der Sendesignale! Um welches FSK- Verfahren handelt es sich ?** **3,5 P**

$$\begin{aligned}
 \rho_{01} &= \frac{1}{E_b} \int_0^{T_b} d_{m,0}(t) \cdot d_{m,1}(t) dt \\
 &= \frac{1}{E_b} \int_0^{T_b} \frac{2E_b}{T_b} \cos(\omega_c t - \Delta\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\omega_c t) dt \\
 &= \frac{2}{T_b} \int_0^{T_b} \frac{1}{2} [\cos(2\omega_c t) + \cos(2\Delta\omega_c t)] dt \\
 &= \frac{1}{T_b} \left[\frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c t) \Big|_0^{T_b} + \frac{1}{2\Delta\omega_c} \sin(2\Delta\omega_c t) \Big|_0^{T_b} \right] \\
 &= \frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c T_b) + \frac{1}{2\Delta\omega_c} \sin(2\Delta\omega_c T_b) \\
 &= \text{si}(2\omega_c T_b) + \text{si}(2\Delta\omega_c T_b) \\
 &= \text{si}(80\pi) + \text{si}(20\pi) = 0 \Rightarrow \text{orthogonaleFSK}
 \end{aligned}$$

<p style="text-align: center;">Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p style="text-align: center;">Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004</p>	<p style="text-align: center;">Blatt: 25</p>
--	--	--

- *8.5** Wie groß ist der Frequenzhub Δf_c für die MSK (minimum shift keying) bei gleicher Trägerfrequenz? Handelt es sich hierbei um Schmalband- oder Breitband-FSK? 2,5 P

$$\begin{aligned}\rho_{01} &= \text{si}(2\omega_c T_b) + \text{si}(2\Delta\omega_c T_b) \approx \text{si}(2\Delta\omega_c T_b) \\ \Rightarrow 2\Delta\omega_c T_b &= k\pi \quad (\text{für MSK ist } k = 1) \\ \Rightarrow 2 \cdot 2\pi\Delta f_c \cdot \frac{1}{R} &= \pi \\ \Rightarrow \Delta f_c &= 600 \text{ Hz}\end{aligned}$$

Es handelt sich um Schmalband-FSK.

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 26.02.2004	Blatt: 26
---	---	-----------