

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 24.02.2005	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Frequenzmodulation	3
2	Abtastung/ PAM	6
3	Quantisierung	9
4	Kanalcodierung	12
5	Analoge Modulation	15
6	Binäre Basisbandübertragung	18
7	Digitale Modulation	22
8	Adaptiver Entzerrer	25

1 Frequenzmodulation

10 Punkte

- 1.1 Bei der Modulation wird ein Quellsignal auf ein Trägersignal aufgeprägt. Dabei wird das Signal aus dem Basisband in ein Bandpasssignal umgewandelt. Nennen Sie **vier** Gründe für das Durchführen einer Modulation! 2 P

Übertragung in Frequenzbereich mit besonders günstigen Eigenschaften; Kanäle, welche tieffrequente Signalanteile sperren (kapazitive Kopplung); größere Reichweiten, geringere Antennenabmessungen; geringe relative Bandbreite, geringere Anforderung an Antennen und Verstärker; mögliche geringere Rauscheinflüsse in höheren Frequenzbereichen, Möglichkeit der Frequenzmultiplexbildung

Frequenzmodulation FM

- 1.2 Ein Signal $u(t)$ werde der Frequenz eines Trägersignals (Grundfrequenz ω_c) aufgeprägt. 4 P
- a) Geben Sie die Gleichung des modulierten Signals $u_m(t)$ in Abhängigkeit von $u(t)$ an. 1 P

$$u_m(t) = A_c \cos(\omega_c t + K_{FM} \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau)$$

- b) Was besagt der *Frequenzhub* $\Delta\omega_{\max}$? Erläutern Sie kurz und geben Sie die Gleichung hierfür an. 1 P

Der Frequenzhub gibt die Maximale Abweichung der Frequenz von der Trägerfrequenz an.

$$\Delta\omega_{\max} = K_{FM} \max|u(t)|$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 3
---	---	----------

- c) Was besagt der *Modulationsindex* β ? Erläutern Sie und geben Sie die Gleichung an. 1 P

Der Modulationsindex bezeichnet das Verhältnis von Frequenzhub zu Bandbreite des Signals $u(t)$.

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

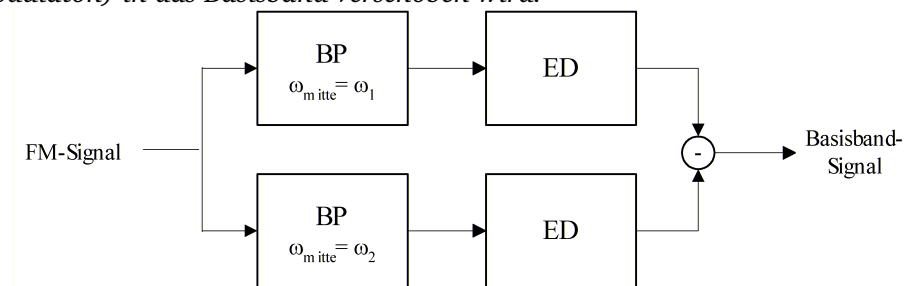
- d) Welche Aussage kann man zur Amplitude der Einhüllenden des modulierten Signales machen? 1 P

Die Einhüllende ist konstant und enthält keine Information. (Information in der Frequenz!)

1.3 FM Demodulation 4 P

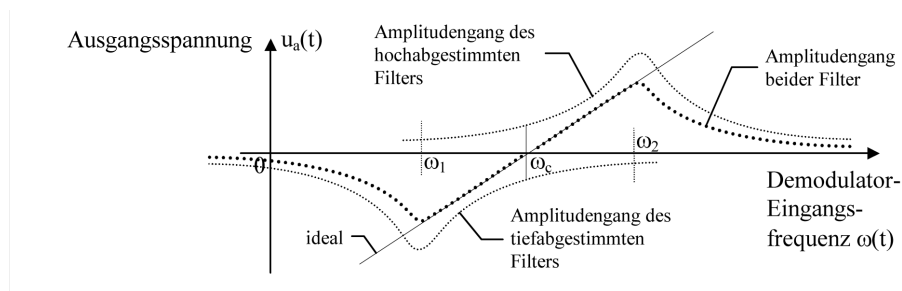
- a) Zeichnen Sie das prinzipielle Blockschaltbild der FM - Demodulation mit Gegentaktdiskriminator und erläutern Sie die Funktionsweise. 2 P

Mit Hilfe zweier abgestimmter Bandpässe wird das FM-Signal in ein AM-Signal umgewandelt, welches dann mittels einfacher AM-Demodulation (z.B. Einhüllendendemodulation) in das Basisband verschoben wird.



b) Zeichnen Sie die Kennlinie eines solchen Gegentaktdiskriminators.

1 P



c) In welchem Verhältnis erhöht sich bei Breitband-FM das Signal-Rauschverhältnis gegenüber der Basisbandübertragung bzw. gegenüber einer Übertragung mit AM?

1 P

$$\frac{SNR_{FM}}{SNR_{BB, AM}} \sim \left(\frac{B_{KM}}{B_Q} \right)^2$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	--	-----------------

2 Abtastung/ PAM

10 Punkte

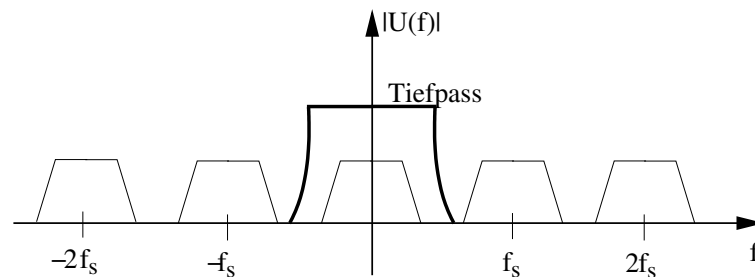
Ideale Abtastung

2.1 Ein beliebiges Tiefpasssignal (Grenzfrequenz f_g) soll ideal abgetastet werden. 2 P

a) Wie groß darf die Abtastfrequenz f_s gewählt werden, damit kein Aliasing auftritt? 0,5 P

$$f_s \geq 2f_g$$

b) Skizzieren Sie das Betragsspektrum des abgetasteten Signals im Bereich $-2f_s < f < 2f_s$. Beschriften Sie die Achsen. 0,5 P

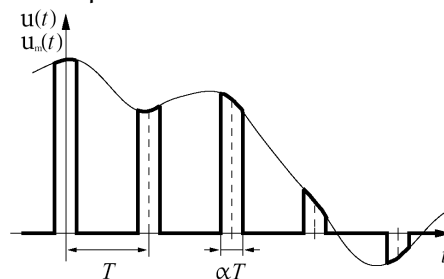


c) Mit welcher Baugruppe kann das abgetastete Signal zurückgewonnen werden? Zeichnen Sie den Betrag der Übertragungsfunktion in das Bild der Lösung der letzten Teilaufgabe. 1 P

mittels Tiefpassfilterung

Nichtideale Abtastung

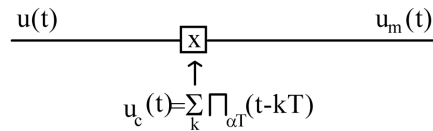
2.2 Ein reales Abtastsystem benutzt Abtastimpulse realer Breite (siehe Skizze). 6 P
Die Abtastfrequenz $f_s = \frac{1}{T}$ sei so gewählt, dass kein Aliasing auftritt.



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 6</p>
---	---	-----------------

- a) Um welche Art der nichtidealen Abtastung handelt es sich? Zeichnen Sie das Prinzipschaltbild. 1 P

shape-top-sampling, Signalausblendung



- b) Geben Sie einen mathematischen Ausdruck für das abgetastete Signal $u_m(t)$ an. 1 P

$$u_m(t) = u(t) \cdot \Pi_{\alpha T}(t) * \delta_T$$

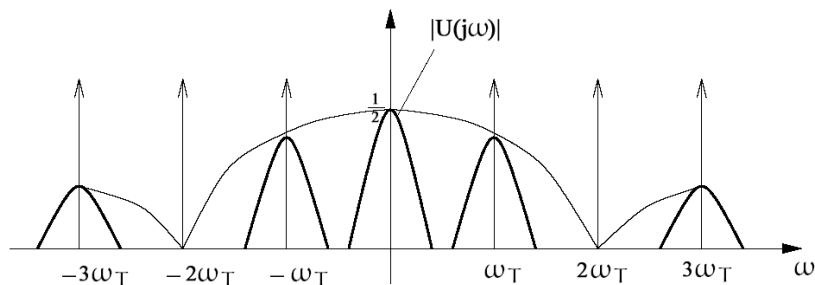
- c) Berechnen Sie das Spektrum $U_m(j\omega)$ mit Hilfe der Fouriertransformation von $u_m(t)$. 2 P

Hinweis: $\Pi_T(t) \leftrightarrow T \operatorname{si}\left(\frac{\omega T}{2}\right)$

$$\delta_T(t) \leftrightarrow \omega_T \delta_{\omega_T} \text{ mit } \delta_T(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT)$$

$$\begin{aligned} U_m(j\omega) &= \frac{1}{2\pi} U(j\omega) * \left(\alpha T \operatorname{si}\left(\frac{\omega \alpha T}{2}\right) \omega_T \delta_{\omega_T}(\omega) \right) \\ &= \alpha U(j\omega) * \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left(\operatorname{si}\left(\frac{k\omega_T \alpha T}{2}\right) \delta(\omega - k\omega_T) \right) \\ &= \alpha \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left(\operatorname{si}(k\pi\alpha) U(j(\omega - k\omega_T)) \right) \end{aligned}$$

- d) Zeichnen Sie schematisch das Betragsspektrum von $u_m(t)$ für den Fall $\alpha = \frac{1}{2}$. 1 P



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 7</p>
---	---	-----------------

- e) Kann das Signal $u(t)$ aus $u_m(t)$ verzerrungsfrei zurückgewonnen werden? 1 P
Begründen Sie ihre Aussage.

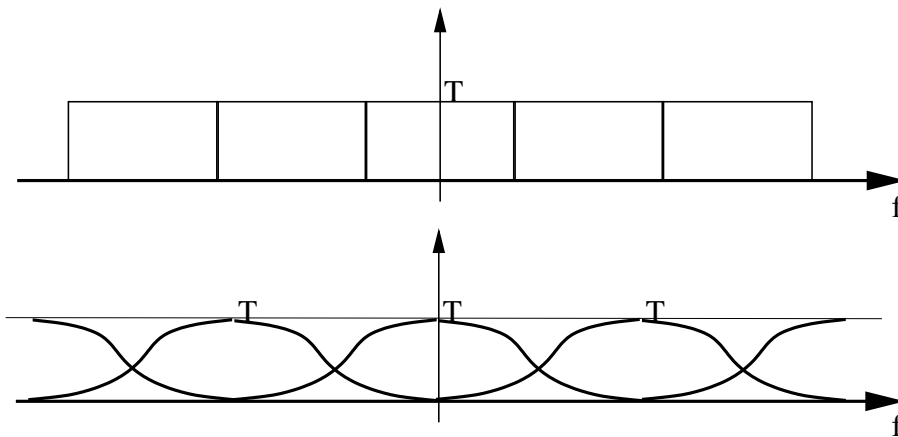
Ja, die einzelnen Spiegelspektren sind zwar skaliert aber nicht verzerrt.

2.3 Roll-off-Verläufe 2 P

- a) Formulieren Sie die erste Nyquistbedingung im Frequenzbereich. 0,5 P

$$\sum_{\forall k} S[j(\omega - k\omega_T)] = T$$

- b) Zeigen Sie anhand zweier Skizzen, dass diese Bedingung sowohl für $\text{si}(x)$ -Sendeimpulse als auch für \cos^2 -Sendeimpulse gilt! 1 P



- c) Wie groß ist jeweils der Flankenfaktor (roll-off)? 0,5 P

si : $r=0$

\cos^2 : $r=1$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 8</p>
--	--	-----------------

3 Quantisierung**10 Punkte**

3.1 Ein Audiosignal mit symmetrischer Amplitudendichteverteilungsfunktion werde gleichförmig mit m Bit quantisiert. 6,5 P

a) Zeichnen Sie die Amplitudendichteverteilung des Quantisierungsfehlers. Beschriften Sie die Achsen! 1 P

siehe Skript!

b) Berechnen Sie die Varianz des Quantisierungsfehlers in Abhängigkeit von der Stufenhöhe Δ . Gehen Sie dabei von der allgemeinen Gleichung zur Berechnung der Varianz aus. 2 P

$$\sigma_q^2 = \frac{\Delta^2}{12}$$

c) Wie berechnet sich die Stufenhöhe Δ aus einer vorgegebenen Aussteuergrenze u_{\max} und der Bitzahl m ? 1 P

$$\Delta = \frac{2u_{\max}}{2^m}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 9
--	--	----------

- d) Zur Quantisierung wird eine geringfügige Überlastung des Quantisierers in Kauf genommen. Die Aussteurgrenze wird daher auf $u_{\max} = 4\sigma_u$ festgelegt. Berechnen Sie das Signal-Rausch-Verhältnis (in dB) des quantisierten Signals in Abhängigkeit von m . 2,5 P

Hinweis: $\log\left(\frac{3}{16}\right) = -0,727$ und $\log(2) = 0,301$

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{\sigma_v^2}{\sigma_q^2} = 10 \log \frac{\sigma_u^2}{\frac{\Delta^2}{12}} = 10 \log \frac{\sigma_u^2}{\frac{4u_{\max}^2}{2^{2m} \cdot 12}}$$

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{\sigma_u^2}{\frac{4 \cdot 16 \sigma_u^2}{2^{2m} \cdot 12}} = 10 \log \frac{3}{16} \cdot 2^{2m}$$

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{3}{16} + 20m \log 2 = 6,02m - 7,27 \text{ dB}$$

- 3.2 Das gleiche Audiosignal werde nun mittels logarithmischer Quantisierungskennlinie (A-Kennlinie) quantisiert. 3,5 P

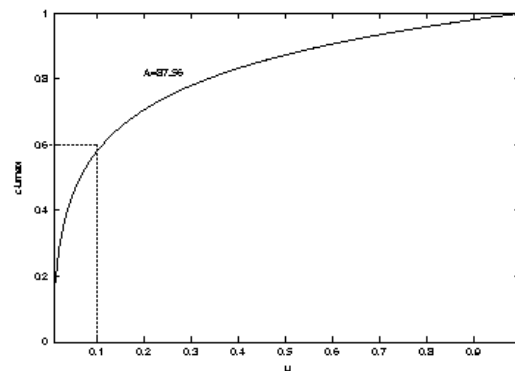
- a) Durch Vorschaltung welcher Baugruppe wird i.A. eine logarithmische Quantisierung mittels linearer A/D Wandler erreicht? Zeichnen Sie zusätzlich das Blockschaltbild einer solchen Quantisierung. 1,5 P

durch Vorschalten eines Kompondierers



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 10</p>
--	--	------------------

- b) Zeichnen sie die Kennlinie der Baugruppe aus Aufgabe 3.2 a) qualitativ. Beschriften Sie die Achsen. 1 P



- c) Das SNR beträgt hierbei $\text{SNR} = 6,02m - 10 \text{ dB}$. Es ist also niedriger als bei der gleichförmigen Quantisierung aus Aufgabe 3.1. Warum ist in der Realität eine logarithmische Quantisierung für Audiosignale trotzdem vorzuziehen? Nennen Sie zwei Gründe. 1 P

das Ergebnis in Aufgabe 3.1 gilt nur für genau ausgesteuerte Signale, in der Realität schwankt die Leistung eines Audiosignals

die log. Kennlinie ist an die psychoakustische Wahrnehmung angepasst, der relative Fehler ist konstant

das SNR ist bei log. Quantisierung unabhängig von der ADV des Ausgangssignals

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	--	------------------

4 Kanalcodierung

10 Punkte

Zyklische Codes

4.1 Gegeben sei die Generatormatrix eines zyklischen nicht systematischen Codes. 5,5 P

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

a) Geben Sie die Länge k der Informationsvektoren und die Coderate r an. 1 P

$$k = 3 \text{ und } r = \frac{3}{7}$$

b) Geben Sie die Anzahl N der zulässigen Kanalwörter a_i an und bestimmen Sie die Kanalwörter $a_0 \dots a_{N-1}$. 2 P

$$N = 8$$

$$a_0 = [0000000], a_1 = [1011100]$$

$$a_2 = [0101110], a_3 = [1110010]$$

$$a_4 = [0010111], a_5 = [1001011]$$

$$a_6 = [0111001], a_7 = [1100101]$$

c) Am Kanalausgang werden zwei Wörter $y_a = [0101010]$ und $y_b = [1110010]$ empfangen. Die möglicherweise fehlerhaft übertragenen Wörter sollen dem zulässigen Kanalwort mit dem geringsten Hammingabstand zugeordnet werden. 2,5 P

Sind die empfangenen Wörter y_a und y_b fehlerfrei? Begründen Sie die Antwort.

Decodieren Sie beide empfangenen Wörter nach obigem Prinzip und geben Sie jeweils die korrigierten Kanalwörter \hat{y}_a und \hat{y}_b sowie die zugehörigen Informationswörter i_a und i_b an.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 12</p>
---	---	------------------

y_a ist fehlerhaft - kein gültiges Kanalwort

y_b ist fehlerfrei - entspricht Kanalwort a_3

$\hat{y}_a = a_2, \hat{y}_b = a_3$

$i_a = [010], i_b = [110]$

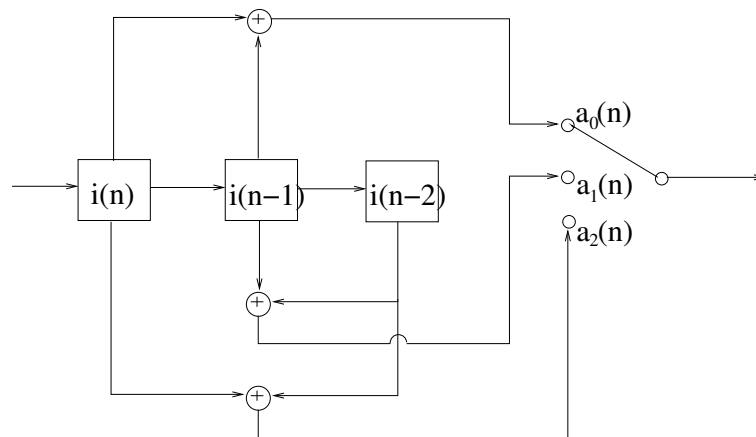
- 4.2 Erläutern Sie den Unterschied zwischen *hard decision* und *soft decision* und geben Sie an, wie groß das Verhältnis des Codiergewinns $\frac{G_{C_{soft}}}{G_{C_{hard}}}$ für gute Kanäle näherungsweise ist. 2 P

siehe Skript

$$\frac{G_{C_{soft}}}{G_{C_{hard}}} \approx 3 \text{ dB}$$

Faltungscodierung

- 4.3 Ein Faltungscodierer der Coderate $r = \frac{1}{3}$ besitze für seine Ausgangsbitfolgen $a_0(n), a_1(n), a_2(n)$ die Impulsantworten $h_0 = [110], h_1 = [011]$ und $h_2 = [101]$.
- a) Zeichnen Sie ein Blockschaltbild des beschriebenen Faltungscodierers. 1,5 P



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 13</p>
--	--	------------------

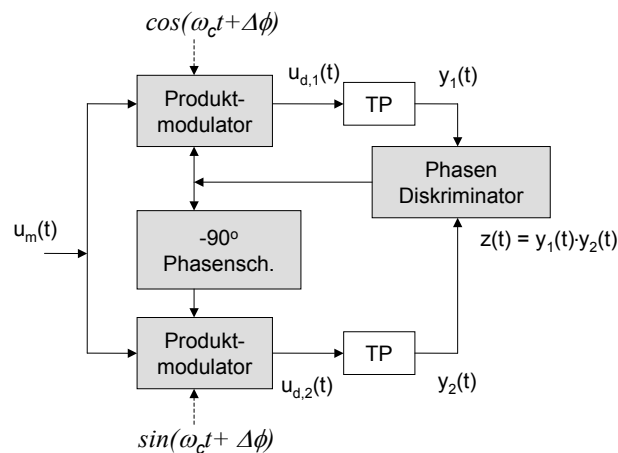
- b) Die Schieberegisterzellen seien mit 0 initialisiert. Wie lautet die Ausgangsbitfolge des Codierers, wenn am Eingang eine [101100]-Folge anliegt? 1 P

[101110110011101011]

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 14
---	---	-----------

5 Analoge Modulation*10 Punkte**

Bei der ZSB kann der Empfänger des Quadraturverfahrens zur Phasennachregelung verwendet werden, indem das lokal erzeugte oder aus dem ankommenden Signal extrahierte Trägersignal eingespeist wird. Dazu sei das folgende Prinzipschaltbild des Empfängers gegeben:



- *5.1 Gegeben sei das Signal $u_m(t) = u(t) \cdot \cos(\omega_c t)$. Bestimmen Sie die Signale $u_{d,1}(t)$ und $u_{d,2}(t)$ allgemein, wenn bei der Demodulation ein Phasenversatz von $\Delta\Phi$ auftritt!** **2 P**

$$\begin{aligned}
 u_{d,1}(t) &= u_m(t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\Phi) \\
 &= u(t) \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\Phi) \\
 &= \frac{1}{2} u(t) \{ \cos(2\omega_c t + \Delta\Phi) + \cos(\Delta\Phi) \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 u_{d,2}(t) &= u_m(t) \cdot \sin(\omega_c t + \Delta\Phi) \\
 &= u(t) \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \sin(\omega_c t + \Delta\Phi) \\
 &= \frac{1}{2} u(t) \{ \sin(2\omega_c t + \Delta\Phi) + \sin(\Delta\Phi) \}
 \end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 15
---	---	-----------

- *5.2 Bestimmen Sie die Signale $y_1(t)$ und $y_2(t)$ unter der Voraussetzung, dass der Tiefpass (TP) Frequenzen oberhalb von ω_c vollständig unterdrückt! 1 P**

$$y_1(t) = \frac{1}{2}u(t) \cdot \cos(\Delta\Phi)$$
$$y_2(t) = \frac{1}{2}u(t) \cdot \sin(\Delta\Phi)$$

- *5.3 Bestimmen Sie das Signal $z(t)$ und geben Sie eine Näherung für $z(t)$ an, wenn $\Delta\Phi$ nur sehr kleine Werte annimmt! 1.5 P**

$$z(t) = \frac{1}{4}u^2(t) \cdot \cos(\Delta\Phi) \cdot \sin(\Delta\Phi)$$
$$\approx \frac{1}{4}u^2(t) \cdot \Delta\Phi$$

- *5.4 Erläutern Sie kurz die Funktionsweise dieses Empfängers! 1.5 P**

siehe Skript (COSTAS-Empfänger)

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 16
--	--	-----------

Frequenzmodulation

- *5.5 Eintonmodulation: Zeigen Sie mathematisch, dass für Schmalband-FM eines cosinusförmigen Signales $u(t) = A_u \cos(\omega_u t)$ der Bandbreitenbedarf weitgehend dem der AM entspricht.** **3 P**

Hinweis: $\cos(\alpha + \beta) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta)$

$$\sin \alpha \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)$$

Taylorreihen: $\sin(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k x^{2k+1}}{(2k+1)!}$ **und** $\cos(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k x^{2k}}{(2k)!}$

$$\begin{aligned} u_m(t) &= \cos(\omega_c t + \beta \sin \omega_u t) \quad \text{mit} \quad \beta = \frac{K_{FM} A_u}{\omega_u} \\ u_m(t) &= \cos \omega_c t \cos(\beta \sin \omega_u t) - \sin \omega_c t \sin(\beta \sin \omega_u t) \\ u_m(t) &= \cos \omega_c t \left(1 - \frac{1}{2} \beta^2 \sin^2 \omega_u t + \dots \right) \\ &\quad - \sin \omega_c t \left(\beta \sin \omega_u t - \frac{1}{6} \beta^3 \sin^3 \omega_u t + \dots \right) \\ u_m(t) &= \cos \omega_c t - \sin \omega_c t \beta \sin \omega_u t + \dots \\ &= \cos \omega_c t + \frac{\beta}{2} [\cos(\omega_c + \omega_u)t - \cos(\omega_c - \omega_u)t] + \dots \end{aligned}$$

- *5.6 Wie lässt sich der Bandbreitebedarf bei der Breitband-FM abschätzen?** **1 P**

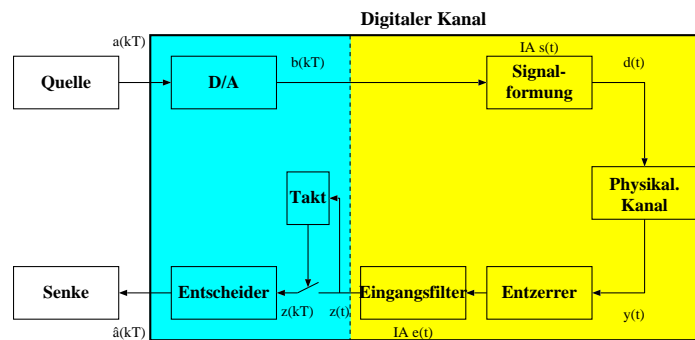
Carson-Regel

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 17
---	---	-----------

6 Binäre Basisbandübertragung

10 Punkte

- 6.1 Skizzieren Sie den prinzipiellen Aufbau eines digitalen Übertragungssystems von der digitalen Quelle bis zur Senke und erläutern Sie grob die Funktionsweise der einzelnen Komponenten. 3 P



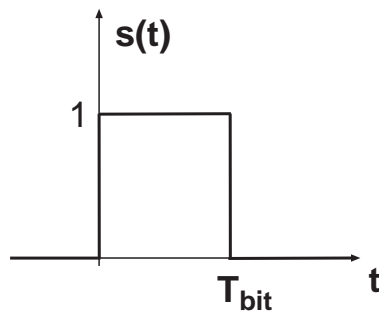
siehe Skript

- 6.2 Wieviele Bits können pro Sekunde und Hertz Bandbreite maximal bei einer binären Basisbandübertragung übertragen werden? 1 P

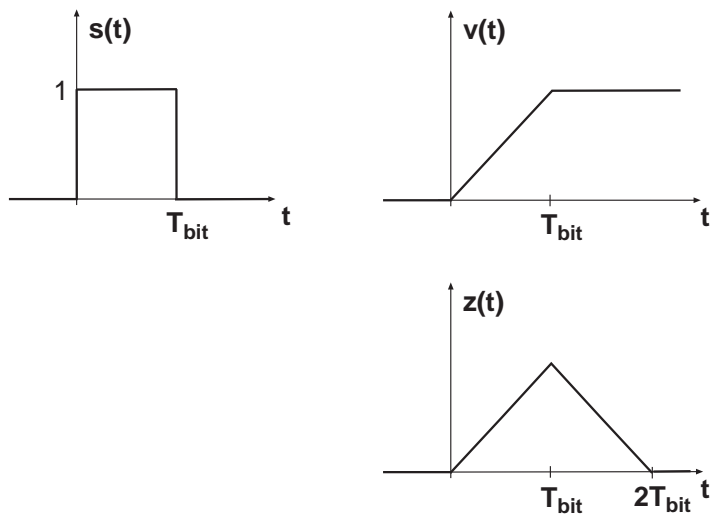
$$\eta = 2 \text{ Bit/s/Hz}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 18</p>
---	---	------------------

Gegeben sei der folgende Sendeimpuls (Ausgangssignal eines Sendeformfilters, SFF):

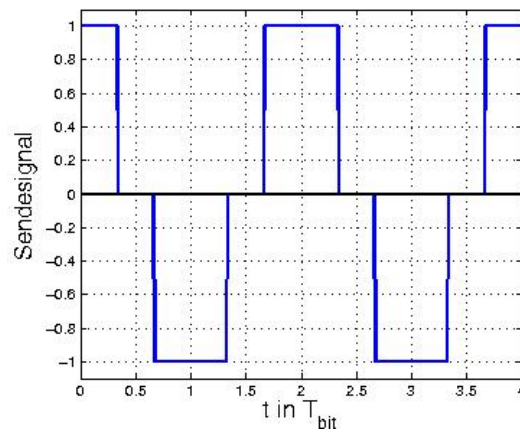


- 6.3 Skizzieren Sie die entsprechenden Ausgangssignale eines Korrelationsempfängers und eines signalangepassten Filters (SAF). 2 P



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 19</p>
---	---	------------------

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



- 6.4 Gesendet wurde eine **1,0,1,0,...**-Folge. Bestimmen Sie die normierte Kreuzkorrelation und geben sie an, welche Art der Signalisierung verwendet wurde? 1.5 P

$\rho_{01} = -1$, da $s_1(t) = -s_0(t)$
 \Rightarrow optimale Signalisierung

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 20
--	--	-----------

- 6.5 Zeichnen Sie die Signalverläufe von 3 unterschiedlichen Leitungscodes für die gegebene Bitfolge (100001100001). Wählen Sie dazu 3 der folgenden Leitungscodes aus: bipolarer NRZ-Code (Non-return to zero), unipolarer RZ-Code (Return to zero), AMI-Code (Alternate mark inversion), HDB3-Code (high density bipolar code of order 3), CMI-Code (coded mark inversion). 1.5 P

siehe Skript

- 6.6 Begründen Sie, warum der AMI-Code auch zur Fehlererkennung eingesetzt werden kann. 1 P

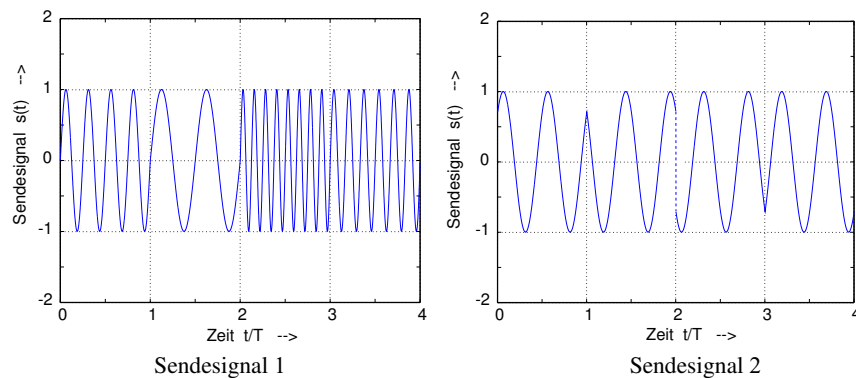
siehe Skript

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 21
---	---	-----------

7 Digitale Modulation

10 Punkte

Die folgende Abb. zeigt zwei Zeitverläufe digital modulierter Trägerschwingungen:



7.1 Ordnen Sie den Sendesignalen 1 und 2 das jeweils verwendete digitale Modulationsverfahren zu. 2 P

- *Sendesignal 2: Frequenzumtastung (FSK)*
- *Sendesignal 3: Phasenumtastung (PSK)*

Eine Folge von Bits b_k wird auf eine Folge von Modulationswerten a_k wie folgt abgebildet: $0 \rightarrow +1$ und $1 \rightarrow -1$, also $a_k = (-1)^{b_k}$. Das modulierte Sendesignal bei der Trägerfrequenz f_c im Intervall $kT \leq t < (k+1)T$ lautet $s(t) = a_k \cdot \cos(2\pi f_c(t - kT))$.

7.2 Um welche der folgenden Modulationsarten könnte es sich handeln? 2 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 22
---	---	-----------

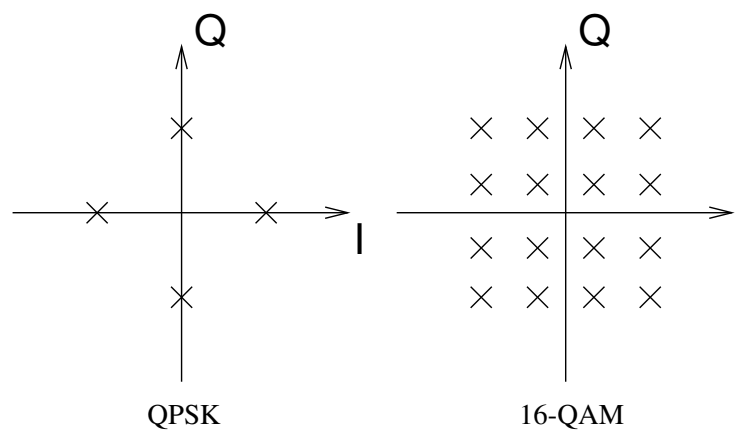
	Richtig	Falsch	Weiß nicht
BPSK	x		
QPSK		x	
ASK	x		
4-ASK		x	

7.3 Stellen Sie die Signalräume (Phasensterne) für die Modulationsarten

2 P

- QPSK (Quarternary Phase Shift Keying)
- 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)

in der komplexen Ebene (I/Q-Ebene) dar.



7.4 Nennen Sie 2 verschiedene digitale Modulationsarten mit denen 2 Bit/Symbol übertragen werden können und erläutern Sie in welchem Parameter des Bandpaßsignals die Information steckt.

2 P

<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 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 23</p>
---	--	------------------

- 4-ASK (Information liegt in der Amplitude)
- 4-FSK (Information liegt in der Frequenz)
- 4-PSK (Information liegt in der Phase [komplexe Einhüllende wird auch akzeptiert])

Es soll nun BPSK-Modulation betrachtet werden. Für diese Modulationsform lässt sich bei synchroner Demodulation die Bitfehlerrate in Abhängigkeit von der Energie eines empfangenen Symbols (Bits) E_b und der Rauschleistungsdichte $N_0/2$ eines weißen gaußschen Rauschprozesses durch die Formel $BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}}$ angeben.

7.5 Bestimmen Sie die Bitfehlerwahrscheinlichkeiten für $E_b = 20 \cdot 10^{-6} \text{V}^2\text{s}$ und $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2\text{s}$, wenn das Signal phasensynchronem empfangen wird bzw. im Empfänger ein Phasenversatz von 90° vorliegt. 2 P

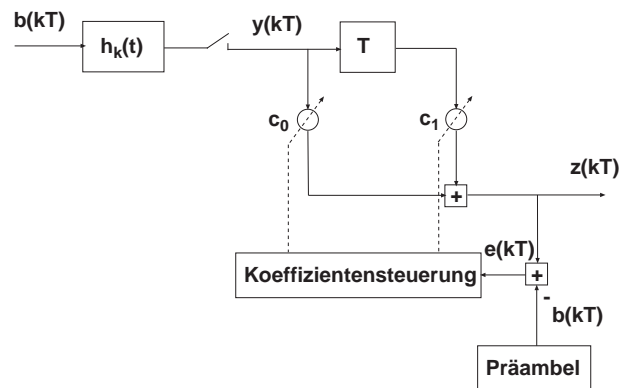
- Für synchronen Empfang wird das Argument der Fehlerfunktion $x = 2.0$ und somit $BER = 2.35 \cdot 10^{-3}$.
- Bei einem Phasenversatz von 90° wird die Bitenergie Null und die BER zu $1/2$.

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 24
--	--	-----------

8 Adaptiver Entzerrer

10 Punkte

Gegeben sei ein adaptiver Entzerrer gemäß der folgenden Abbildung:



Durch Senden einer am Entzerrerausgang bekannten Präambel $b(kT)$ sollen die Koeffizienten c_0 bis c_1 iterativ optimiert werden. Ziel ist es, die gesendete Folge $b(kT)$ am Ausgang des adaptiven Entzerrers möglichst unverfälscht zu empfangen.

- *8.1 Wie lautet der Fehler $e(kT)$ in Abhängigkeit von $y(kT)$ und den Koeffizienten einer teilentzerrten Folge zum Zeitpunkt (kT) ? Berechnen Sie damit den resultierenden Fehler $e(0T)$ für folgende Einstellungen: 2 P

$$e(kT) = z(kT) - b(kT) = \sum_{j=0}^1 c_j \cdot y[(k-j)T] - b(kT)$$

$$e(0T) = 0.8 \cdot 0.8 - 1 = 0.36$$

- *8.2 Berechnen Sie die Datenverzerrung D für die Ausgangsfolge $y(kT)$ (ohne Entzerrung). 1 P

$$D = \frac{0.3 + 0.1}{0.8} = 0.5$$

- *8.3 Leiten Sie aus dem quadratischen Fehler $Q(kT) = e^2(kT)$ die Fehlersteigung $\frac{\delta Q}{\delta c_j}$ her. 2 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005	Blatt: 25
--	--	-----------

siehe Rechenübung (9. Übung)

- *8.4 Berechnen Sie die Steigung des Fehlers bezüglich c_j ($j = 0$ und 1) und ändern Sie die Koeffizienten c_j um $\Delta = -0.2$, wenn die Fehlersteigung positiv ist, und $\Delta = +0.2$, wenn sie negativ ist, (bzw. um 0 , wenn der Gradient Null ist). 2 P**

$$\begin{aligned}\frac{\delta Q}{\delta c_0} &= -0.576 \rightarrow c_0 = 0.8 + \Delta = 1 \\ \frac{\delta Q}{\delta c_1} &= 0 \rightarrow c_1 = -1\end{aligned}$$

Nach $k = 2$ Zeitschritten ist $y(kT)$ komplett durch das Filter gelaufen. Weitere Schritte würden keine Veränderung der Koeffizienten mehr ergeben. Die Koeffizienten haben jetzt die Werte $c_0 = 1.2$ und $c_1 = -0.6$.

- *8.5 Berechnen Sie die Ausgangsfolge $z(kT)$ bei dieser Koeffizienteneinstellung und gegebener Filtereingangsfolge $y(kT)$ zu den Zeitpunkten kT ($k=0,1,2,3$). 2 P**

$$\begin{aligned}z(0T) &= 0.96 \\ z(1T) &= -0.12 \\ z(2T) &= -0.06 \\ z(3T) &= -0.06\end{aligned}$$

- *8.6 Berechnen Sie die Datenverzerrung für $z(kT)$ für diese Koeffizienteneinstellung. 1 P**

$$D = \frac{0.12 + 0.06 + 0.06}{0.96} = 0.25$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 24.02.2005</p>	<p>Blatt: 26</p>
---	---	------------------