

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. Punktezahl	9	11	10	10	10	10	8	12	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 19.02.2003	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Fouriertransformation zeitkontinuierlicher Signale	3
2	Nachrichtenkanäle	5
3	Signalbeeinflussung und Echokompensation	8
4	Analoge Modulationsverfahren (AM - FM)	11
5	Digitale Nachrichtenübertragung	14
6	Binärübertragung im Basisband	17
7	Binäre Modulation	19
8	Mehrwertige Modulation und Bandbreitungsverfahren	20

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 2
---	---	----------

1 Fouriertransformation zeitkontinuierlicher Signale 9 Punkte

- 1.1 Geben Sie die *Analyse-* und *Synthesegleichung* der Fouriertransformation für zeitkontinuierliche Signale $u(t)$ an. 2 P

$$\text{FT: } U(j\omega) = \mathcal{F}\{u(t)\} := \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt$$

$$\text{IFT: } u(t) = \mathcal{F}^{-1}\{U(j\omega)\} := \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} U(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega$$

- 1.2 Bestimmen Sie das Amplitudenspektrum $A(\omega)$ und das Phasenspektrum $\varphi(\omega)$ in Abhängigkeit von $\text{Re}\{U(j\omega)\}$ und $\text{Im}\{U(j\omega)\}$. Welche geometrischen Eigenschaften haben $A(\omega)$ und $\varphi(\omega)$ bei reellwertigem Eingangssignal $u(t)$? 2 P

$$|A(\omega)| = \sqrt{\text{Re}\{U(j\omega)\}^2 + \text{Im}\{U(j\omega)\}^2}$$

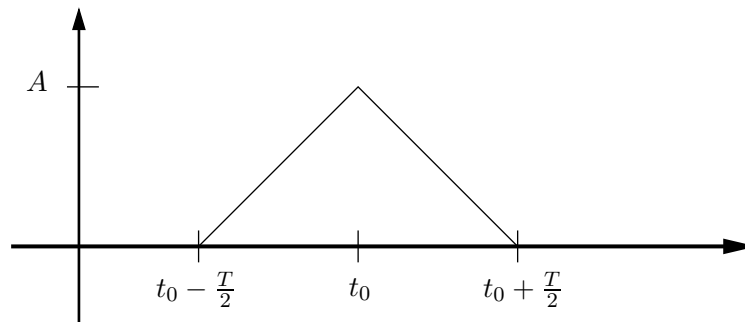
$$\varphi(\omega) = \arctan \frac{\text{Im}\{U(j\omega)\}}{\text{Re}\{U(j\omega)\}} + \begin{cases} 0 & \text{für } \text{Re}\{U(j\omega)\} > 0 \\ \pi & \text{für } \text{Re}\{U(j\omega)\} < 0 \end{cases}$$

$|A(\omega)|$ ist gerade

$\varphi(\omega)$ ist ungerade

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 3</p>
---	---	-----------------

- 1.3 Bestimmen Sie Fouriertransformierte $U(j\omega)$ der dargestellten Zeitfunktion $u(t)$. Der Lösungsweg muss erkennbar sein! 5 P



Hinweis: $\mathcal{F}\{A \Pi_T(t)\} = AT \operatorname{si}\left(\frac{\omega T}{2}\right)$

$$\begin{aligned}
 u(t + t_0) &= \frac{2A}{T} (\Pi_{T/2}(t) * \Pi_{T/2}(t)) \\
 \mathcal{F}\{u(t)\} &= \frac{2A}{T} \cdot e^{-j\omega t_0} \cdot \left(\frac{T}{2} \operatorname{si}\left(\frac{\omega T}{4}\right) \cdot \frac{T}{2} \operatorname{si}\left(\frac{\omega T}{4}\right) \right) \\
 &= \frac{AT}{2} \cdot e^{-j\omega t_0} \cdot \operatorname{si}^2\left(\frac{\omega T}{4}\right)
 \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 4</p>
---	--	-----------------

2 Nachrichtenkanäle

11 Punkte

Ideales Übertragungssystem

- 2.1 Gegeben sei ein ideales Übertragungssystem. An dessen Eingang liege das Signal $u(t) \leftrightarrow U(j\omega)$ an. Geben Sie die allgemeine Form des Ausgangssignals $y(t) \leftrightarrow Y(j\omega)$ im Zeit- und Frequenzbereich an! Skizzieren Sie Amplituden- und Phasengang des Systems! 2 P

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

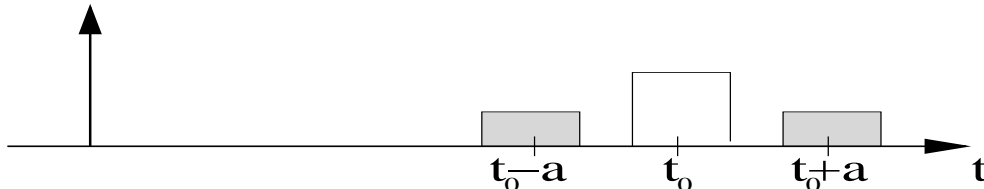
$$Y(j\omega) = \kappa U(j\omega) e^{-j\omega t_0}$$



- 2.2 Was bewirken die folgenden Abweichungen vom idealen Übertragungssystem: (Hinweis: Nehmen Sie an, dass das Eingangssignal $u(t)$ ein Rechteckimpuls endlicher Breite zum Zeitpunkt $t = 0$ ist.) 2 P

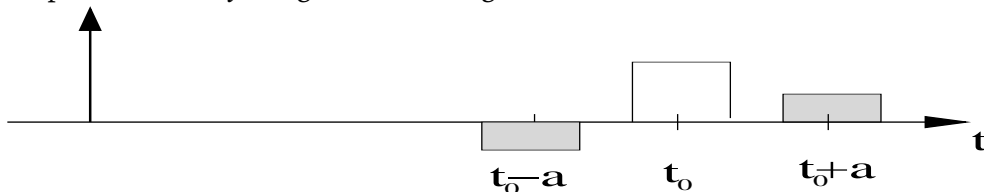
- a) Cosinusförmige Welligkeit im Amplitudengang. Benennen Sie das Phänomen und skizzieren Sie $y(t)$! 1 P

Es entstehen symmetrische Echopaare in Abhängigkeit von der Frequenz der Welligkeit.



- b) Geringe sinusförmige Abweichung im Phasengang. Benennen Sie das Phänomen und skizzieren Sie $y(t)$! 1 P

Es entstehen ungerade-symmetrische Echopaare in Abhängigkeit von der Frequenz der sinusförmigen Abweichung.



Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 5
--	---	----------

Bandpasssysteme - Äquivalente Tiefpasssysteme

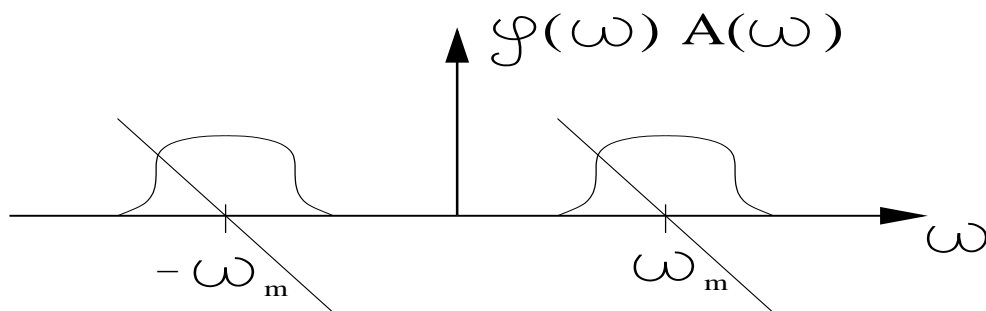
2.3 Ein idealisierter Bandpasskanal habe die Übertragungsfunktion H_{BP} . 3 P

a) Geben Sie formell an, wie sich H_{BP} aus der Übertragungsfunktion des äquivalenten Tiefpasssystems H_{TP} ergibt. 2 P

Skizzieren Sie Amplituden- und Phasengang eines solchen Bandpasses!

$$H_{BP}(j\omega) = H_{TP}[j(\omega - \omega_m)] + H_{TP}[j(\omega + \omega_m)]$$

$$H_{BP}(j\omega) = H_{TP}(j\omega) * [\delta(\omega - \omega_m) + \delta(\omega + \omega_m)]$$



b) Leiten Sie mittels inverser Fouriertransformation die Impulsantwort des Bandpasses h_{BP} in Abhängigkeit von der Impulsantwort des Tiefpasses h_{TP} her! 1 P

Aus $a(t)b(t) \leftrightarrow \frac{1}{2\pi} A(j\omega) * B(j\omega)$ folgt:

$$H_{BP}(j\omega) = H_{TP}(j\omega) * [\delta(\omega - \omega_m) + \delta(\omega + \omega_m)]$$

$$h_{BP}(t) = 2\pi h_{TP} \cdot \frac{1}{\pi} \cos(\omega_m t)$$

$$= 2h_{TP} \cdot \cos(\omega_m t)$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 6</p>
---	---	-----------------

2.4 Das äquivalente Tiefpasssystem sei ein idealer TP mit einer Laufzeit t_0 und der Bandbreite $f_B = B = \frac{1}{2t_0}$. 4 P

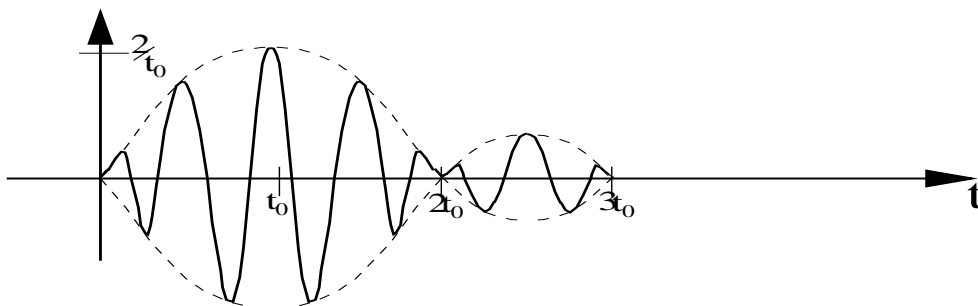
a) Berechnen Sie formal die Impulsantwort des Bandpasssystems, wobei die Mittenfrequenz bei $f_m = 4B$ liegt. Skizzieren Sie die Impulsantwort im Bereich $0 \leq t \leq 3t_0$! 3 P

Hinweis: $\frac{\omega_T}{2\pi} \text{si} \left(\frac{\omega_T}{2} t \right) \longleftrightarrow \Pi_{\omega_T}(\omega)$

$$H_{\text{TP}} = \Pi_{4\pi B}(\omega) e^{-j\omega t_0}$$

Mit $B = \frac{1}{2t_0}$ und $\omega_m = 2\pi 4B = 8\pi B$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} H_{\text{TP}} &= \Pi_{\frac{2\pi}{t_0}} e^{-j\omega t_0} \\ h_{\text{TP}} &= \frac{2\pi}{2\pi t_0} \text{si} \left(\frac{2\pi}{2t_0} (t - t_0) \right) \\ &= \frac{1}{t_0} \text{si} \left(\pi \frac{t - t_0}{t_0} \right) \\ h_{\text{BP}} &= 2h_{\text{TP}} \cos(2\pi 4Bt) \\ &= \frac{2}{t_0} \text{si} \left(\pi \frac{t - t_0}{t_0} \right) \cdot \cos \left(\frac{4\pi}{t_0} t \right) \end{aligned}$$



b) Ist das Filter aus Teilaufgabe a) realisierbar? Geben Sie eine Begründung für ihre Antwort an. 1 P

Nein, das Filter ist nicht realisierbar, da die Impulsantwort unendlich ausgedehnt, das Filter also nicht kausal ist.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 7</p>
---	---	-----------------

3 Signalbeeinflussung und Echokompensation**10 Punkte**3.1 Präemphase, Deemphase 3 P

Sprach- und Audiosignale haben im oberen Frequenzbereich im Mittel nur einen geringen Leistungsanteil, der durch breitbandige Störungen verdeckt werden kann. Dies kann durch Deemphase und Präemphase verhindert werden.

a) Erklären Sie die Begriffe *Deemphase* und *Präemphase*! 1 P

Präemphase: Höhenanhebung beim Sendesignal

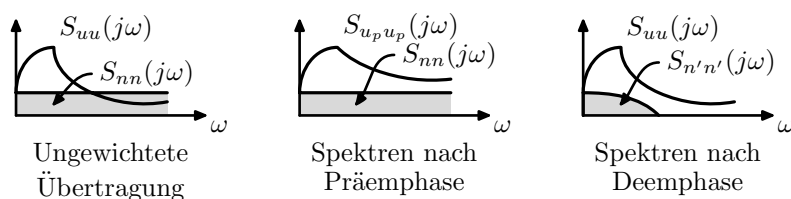
Deemphase: Korrektur der Höhenanhebung

b) Skizzieren Sie ein typisches Signalspektrum sowie das Störspektrum (weißes Rauschen) eines Übertragungskanals 2 P

a) bei ungewichteter Übertragung,

b) nach der Präemphase,

c) nach der Deemphase.



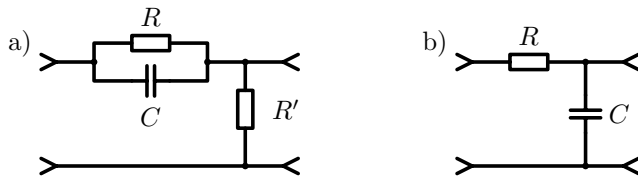
<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 8</p>
---	--	-----------------

3.2 Prä- und Deemphasefilter

2 P

- a) Zeichnen Sie eine für FM-Übertragung übliche Analschaltung für das Prä- und Deemphasefilter!

1 P



- b) Zeichnen Sie den Betragsverlauf typischer Übertragungsfunktion für Prä- und Deemphasefilter!

1 P

Hochpaßverlauf — Tiefpaßverlauf

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 9</p>
---	--	-----------------

3.3 Echokompensation

1 P

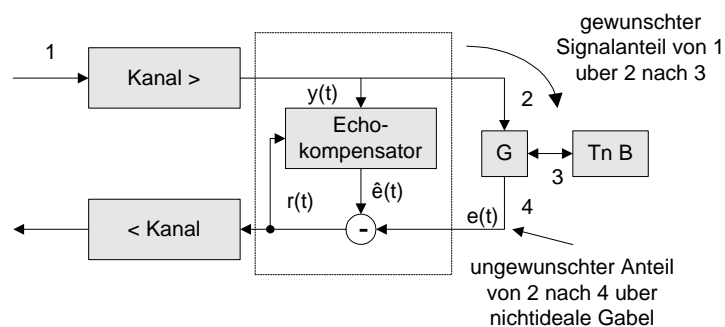
Erklären Sie den Unterschied zwischen einer Echosperre und einem Echokompensator!

Echosperre: Unterdrückung des Echos durch Dämpfung

Echokompensation: Kompensation des Echos durch Subtrahieren eines synthetischen Echos.

3.4 Skizzieren Sie ein Blockschaltbild zum Prinzip der Echokompensation mit den Blöcken *Echokompensator*, *Gabel* und *Teilnehmer*! Kennzeichnen Sie die Steuersignale des Echokompensators!

2 P



3.5 Welche Übertragungsfunktion wird im Echokompensator bei der Kompensation akustischer Echos nachgebildet?

1 P

Die Übertragungsfunktion des Empfangsraumes (Raumimpulsantwort).

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 10</p>
---	--	------------------

4 Analoge Modulationsverfahren (AM - FM)*10 Punkte*****4.1 Amplitudenmodulation (AM) ohne Träger****2 P**

- a) Geben Sie die allgemeine Gleichung für die Zweiseitenbandmodulation (ZSB) im Zeit- und Frequenzbereich an! **1 P**

$$u_m(t) = u(t) \cdot \cos(\omega_c t)$$

$$U_m(j\omega) = \frac{1}{2}[U_j(\omega - \omega_c) + U_j(\omega + \omega_c)]$$

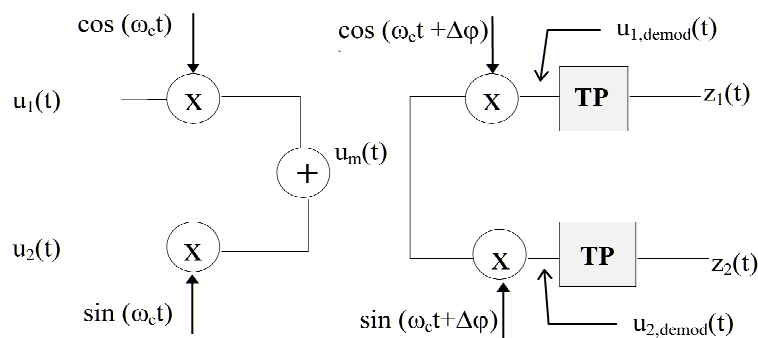
- b) Wie groß ist der Bandbreitebedarf bei der ZSB-Modulation im Vergleich zu einer Basisbandübertragung? **1 P**

$$B_{K_m, BB} = B_Q$$

$$B_{K_m, ZSB} = 2 \cdot B_Q$$

Der Bandbreitebedarf ist demnach doppelt so groß.

- *4.2 Bei der Quadraturamplitudenmodulation (QAM) können zwei Signale $u_1(t)$ und $u_2(t)$ gemeinsam über einen Kanal übertragen werden. In der folgenden Abbildung ist das Prinzip der QAM dargestellt:**

4 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	--	------------------

- a) Berechnen Sie die Signale $u_{1,\text{demod}}(t)$ und $u_{2,\text{demod}}(t)$! 2 P
 (Hinweis: $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$, $\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$)

$$\begin{aligned} \text{mit } \cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta) &= 2 \cos \alpha \cos \beta \\ \cos(\alpha + \beta) - \cos(\alpha - \beta) &= -2 \sin \alpha \sin \beta \\ \sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta) &= 2 \sin \alpha \cos \beta \\ \sin(\alpha + \beta) - \sin(\alpha - \beta) &= 2 \cos \alpha \sin \beta \end{aligned}$$

folgt :

$$\begin{aligned} u_{1,\text{demod}}(t) &= u_m(t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\varphi) \\ &= u_1(t) \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\varphi) + u_2(t) \cdot \sin(\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\varphi) \\ &= \frac{1}{2} u_1(t) [\cos(2\omega_c t + \Delta\varphi) + \cos(\Delta\varphi)] + \frac{1}{2} u_2(t) [\sin(2\omega_c t + \Delta\varphi) - \sin(\Delta\varphi)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_{2,\text{demod}}(t) &= u_m(t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\varphi) \\ &= u_1(t) \cdot \cos(\omega_c t) \cdot \sin(\omega_c t + \Delta\varphi) + u_2(t) \cdot \sin(\omega_c t) \cdot \sin(\omega_c t + \Delta\varphi) \\ &= \frac{1}{2} u_1(t) [\sin(2\omega_c t + \Delta\varphi) + \sin(\Delta\varphi)] + \frac{1}{2} u_2(t) [\cos(\Delta\varphi) - \cos(2\omega_c t + \Delta\varphi)] \end{aligned}$$

- b) Geben Sie die Signale $z_1(t)$ und $z_2(t)$ am Ausgang des Tiefpasses (TP) an! 1 P

$$\begin{aligned} z_1(t) &= \frac{1}{2} u_1(t) \cos(\Delta\varphi) - \frac{1}{2} u_2(t) \sin(\Delta\varphi) \\ z_2(t) &= \frac{1}{2} u_1(t) \sin(\Delta\varphi) + \frac{1}{2} u_2(t) \cos(\Delta\varphi) \end{aligned}$$

- c) Was geschieht, wenn der Phasenversatz 1 P

- a) $\Delta\varphi = 0$,
 b) $0 < \Delta\varphi < 90^\circ$ und
 c) $\Delta\varphi = 90^\circ$ beträgt?

$\Delta\varphi = 0$: ideale Demodulation

$0 < \Delta\varphi < 90^\circ$: Nebensprechen

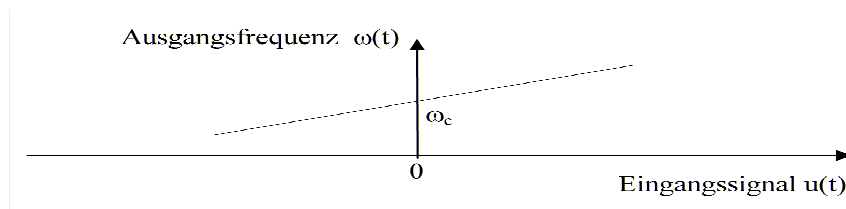
$\Delta\varphi = 90^\circ$: Kanäle sind vertauscht (aber kein Nebensprechen)

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 12
---	---	-----------

4.3 Frequenzmodulation (FM)*4 P**

a) Stellen Sie die ideale FM-Modulationskennlinie grafisch dar!

1 P



b) Im UKW-Bereich des Rundfunks wird mit FM gearbeitet. Der Frequenzhub beträgt 75 kHz. Die höchste Modulationsfrequenz (Nachrichtensignalfrequenz) ist auf 15 kHz begrenzt. Welcher Modulationsindex liegt vor und wie groß ist die Bandbreite des FM-Signals?

2 P

$$\text{Modulationsindex: } \beta = \frac{\Delta f_{\max}}{B_Q} = \frac{75\text{kHz}}{15\text{kHz}} = 5$$

$$\text{Bandbreite aus der Carson-Regel: } B_{K_m} \approx 2 \cdot (\beta + 1) \cdot B_Q = 12 \cdot 15\text{kHz} = 180\text{kHz}$$

c) Um wie viel größer ist der Bandbreitebedarf gegenüber einer Amplitudenmodulation **mit** Träger?

1 P

$$B_{K_m, AM \text{ mit Träger}} = 2 \cdot B_Q$$

Daraus folgt, dass der Bandbreitebedarf gegenüber der AM mit Träger um den Faktor 6 größer ist.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

5 Digitale Nachrichtenübertragung

10 Punkte

5.1 Lineare Quantisierung

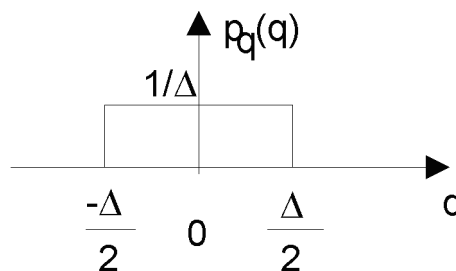
6 P

- a) Bei linearer Quantisierung mit Stufenhöhe Δ wird der Quantisierungsfehler q als gleichverteilt angenommen. Welche Voraussetzungen müssen dafür erfüllt sein? Skizziere (und beschrifte!) die Verteilungsdichtefunktion $p_q(q)$!

Voraussetzungen:

- Rekonstruktionswerte liegen in der Mitte des jeweiligen Entscheidungsintervalls
- Stufenzahl M ist ausreichend groß (bzw. Δ klein)

Verteilungsdichtefunktion: $p_q(q) = \frac{1}{\Delta} \cdot \Pi_{\Delta}(q)$



- b) Zeige, dass die Varianz des Quantisierungsfehlers dann zu $\sigma_q^2 = \frac{\Delta^2}{12}$ wird. 2 P

$$p_q^2 = \int_{-\infty}^{\infty} q^2 p_q(q) dq = \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} q^2 \frac{1}{\Delta} dq = \frac{2}{\Delta} \int_0^{\Delta/2} q^2 dq = \frac{2}{\Delta} \left[\frac{q^3}{3} \right]_0^{\Delta/2} = \frac{2}{\Delta} \frac{\Delta^3}{3 \cdot 8} = \frac{\Delta^2}{12}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 14</p>
---	---	------------------

- c) Ein Sinussignal mit Amplitude $\pm A$ werde mit $M = 2^m$ Stufen und einem maximalen Quantisierungsniveau im Quantisierer $u_{\max} = A$ quantisiert. Leite den sich resultierenden SNR in dB her! 2 P

Hinweise: $\log(2) = 0,301$; $\log(1,5) = 0,176$

$$\begin{aligned}\sigma_u^2 &= \frac{A^2}{2} = \frac{u_{\max}^2}{2} = \frac{(\Delta \cdot (M/2))^2}{2} = \frac{\Delta^2 \cdot M^2}{2 \cdot 4} = \frac{\Delta^2 \cdot 2^{2m}}{8} \\ \frac{\sigma_u^2}{\sigma_q^2} &= \frac{\Delta^2 \cdot 2^{2m}}{8} \cdot \frac{12}{\Delta^2} = \frac{3}{2} 2^{2m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{SNR} &= 10 \log \frac{\sigma_u^2}{\sigma_q^2} = 10 \log \left(\frac{3}{2} 2^{2m} \right) \\ &= 10 \log(2^{2m}) + 10 \log(3/2) = 2m \cdot 10 \log(2) + 10 \log(3/2) \\ &= 6,02m + 1,76 \text{ [dB]}\end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 15
---	---	-----------

5.2 PCM-Übertragung 4 P

- a) Ein gaußverteiltes Audiosignal mit der Bandbreite $B_{\text{Quelle}} = 15 \text{ kHz}$ soll abgetastet und mit 4σ -Belastung linear quantisiert werden. Der SNR soll dabei mindestens 50 dB betragen. Welche Mindestbitrate R ergibt sich daraus für die Übertragung? 2 P

$$B_{\text{Quelle}} = 15 \text{ kHz} \Rightarrow f_T = 30 \text{ kHz}$$

$$\begin{aligned} \text{SNR}_{\text{lin-Kennlinie}, 4\sigma} &= 6,02m - 7,27 \text{ [dB]} \geq 50 \text{ [dB]} \\ \Rightarrow m &\geq \frac{57,27}{6,02} = 9,51 \\ \Rightarrow m &= 10 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow R_{\min} = m \cdot f_t = 10 \cdot 30 \text{ kHz} = 300 \text{ kbit/s}$$

- b) Welche Bandbreite B_{Kanal} wird benötigt, wenn dieses PCM-Signal mit einem Flankenfaktor $r = 0,5$ binär übertragen wird? 1 P

$$B_{\text{Kanal}} = \frac{R}{2}(1 + r) = \frac{300 \text{ kbit/s}}{2} \cdot 1,5 = 225 \text{ kHz}$$

- c) Wieviele Bits müssen jeweils zu einem Codewort zusammen gefasst werden, um mittels mehrwertiger Übertragung eine maximale Kanalbandbreite $B_{\text{Kanal,max}} = 75 \text{ kHz}$ zu erreichen? 1 P

$$N \geq \frac{225 \text{ kHz}}{75 \text{ kHz}} = 3$$

Es müssen $N = 3$ Bits zu einem Codewort zusammengefasst werden (8-stufige Übertragung).

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 16</p>
---	---	------------------

6 Binärübertragung im Basisband*10 Punkte**

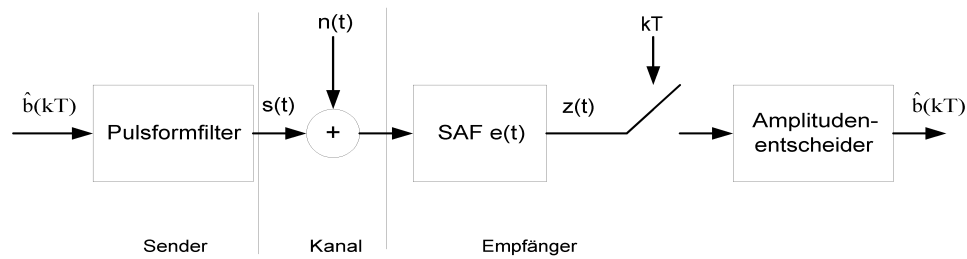
Über einen digitalen Kanal werden Daten bipolar mit den Sendeimpulsen

$$s_1(t) = \frac{A}{2} \cdot \Pi_T \left(t - \frac{T}{2} \right) = s(t) \text{ und } s_0(t) = -\frac{A}{2} \cdot \Pi_T \left(t - \frac{T}{2} \right) = -s(t)$$

übertragen. Dabei sei die Signalamplitude $\frac{A}{2} = 2 \text{ V}$ und die zeitliche Ausdehnung des Sendeimpulses $T = 50 \text{ ns}$. Zusätzlich wird die Übertragung durch weißes, gaußverteiltes Rauschen der Leistungsdichte $S_{nn}(\omega) = \frac{N_0}{2} = 25 \text{ nV}^2/\text{s}$ gestört. Der Empfänger enthalte ein an das Signal $s_1(t)$ angepasstes Filter (SAF).

***6.1 Skizzieren Sie die Übertragungsstrecke und geben Sie die Impulsantwort des SAF an! 2 P**

$$e(t) = s_1(T - t) = \frac{A}{2} \Pi_T \left(\frac{T}{2} - t \right) = \frac{A}{2} \Pi_T \left(t - \frac{T}{2} \right) = s_1(t) = s(t)$$



***6.2 Bestimmen Sie die Energie E_b des Sendeimpulses und die Varianz σ_r^2 des Rauschens am Ausgang des SAF! 3 P**

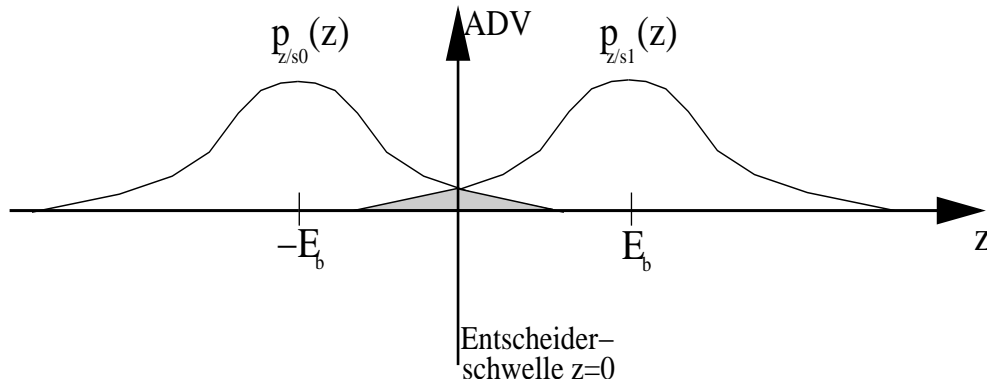
$$E_b = \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t)^2 dt = \int_0^T \left(\frac{A}{2} \right)^2 dt = 200 \text{ nV}^2 \text{ s}$$

Varianz:

$$\begin{aligned} \sigma_r^2 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{rr}(\omega) d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_{nn}(\omega) \cdot |E(j\omega)|^2 d\omega \\ &\text{(Parsevaltheorem)} \\ &= \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} |e(t)|^2 dt = \frac{N_0}{2} \int_{-\infty}^{\infty} s_1^2(t) dt = \frac{N_0}{2} E_b \\ &= 5000 \left(\text{nV}^2 \text{ s} \right)^2 \end{aligned}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 17
--	---	-----------

- *6.3 Skizzieren Sie die bedingten Amplitudendichteverteilungen am Ausgang des SAF! Geben Sie dabei die Entscheidungsschwelle an und markieren Sie die Bereiche, welche zu Fehlentscheidungen führen!** **2 P**



- *6.4 Berechnen Sie die Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_{Bit} !** **2 P**

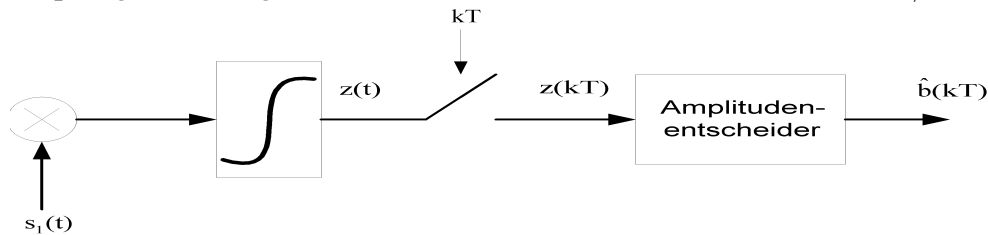
Hinweis: $\text{erfc}(2) \approx \frac{7}{1500}$, $p_{\text{Bit}} = \frac{1}{2} \text{erfc} \frac{|A_1 - A_0|}{\sqrt{8\sigma_r^2}}$

Bei bipolarer Übertragung gilt: $p_{\text{Bit}} = \frac{1}{2} \text{erfc} \frac{|A_1 - A_0|}{\sqrt{8\sigma_r^2}}$

Mit $|A_1 - A_0| = 2E_b$ und $\sigma_r^2 = \frac{N_0}{2} E_b$ folgt:

$$\begin{aligned}
 p_{\text{Bit}} &= \frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{\frac{4E_b^2 \cdot 2}{8N_0 E_b}} = \frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \\
 &= \frac{1}{2} \text{erfc} \sqrt{\frac{200 \text{ nV}^2 \text{ s}}{50 \text{ nV}^2 \text{ s}}} = \frac{1}{2} \text{erfc}(2) \approx \frac{7}{3000}
 \end{aligned}$$

- *6.5 Statt des SAF werde nun ein Korrelationsempfänger (kohärente Korrelation) verwendet. Zeichnen sie das Blockschaltbild des Empfängers und geben Sie die Bitfehlerwahrscheinlichkeit $p_{\text{Bit,K}}$ an!** **1 P**



$$p_{\text{Bit,K}} = p_{\text{Bit}} = \frac{1}{2} \text{erfc}(2) \approx \frac{7}{3000}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 18
--	---	-----------

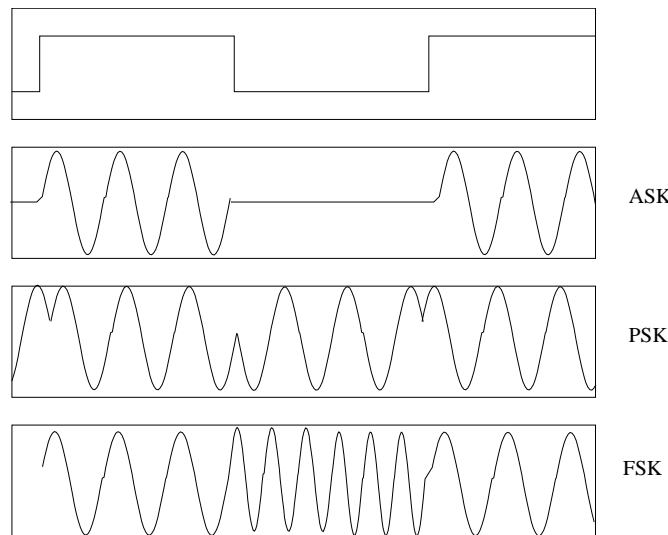
7 Binäre Modulation

8 Punkte

- 7.1 Erklären Sie kurz in Worten das Prinzip der binären Modulation durch ASK, PSK und FSK! 3 P

Das binäre Nachrichtensignal hat zwei Werte, nennen wir sie 1 und 0. Für ASK werden diesen zwei Werten 2 verschiedene Amplituden (meist A und 0) des Trägersignals zugeordnet. Bei der PSK werden der 1 und der 0 zwei verschiedene Phasenwerte (meist 0 und 180°) zugeordnet. Entsprechend bei FSK zwei verschiedene Frequenzen.

- 7.2 Das unten abgebildete Rechtecksignal sei das binäre Eingangssignal eines Modulators. Skizzieren Sie die entsprechenden durch ASK, PSK bzw. FSK modulierten Signale! 3 P



Bei einer bestimmten FSK-Konfiguration werden zwei Signalformen $s_{m0}(t)$ und $s_{m1}(t)$ verwendet, deren Frequenzabstand durch die Beziehung $2\Delta f = \frac{R_b}{2}$ gegeben ist. Dabei ist R_b die Bitrate des zu modulierenden Signals.

- 7.3 Welcher Wert ergibt sich für die Kreuzkorrelation ρ_{01} der beiden Signale $s_{m0}(t)$ und $s_{m1}(t)$? 1 P

Die Signale sind orthogonal. $\rho_{01} = 0$

- 7.4 Welchen Sonderfall der FSK stellt diese Konfiguration dar? 1 P

Minimum Shift Keying

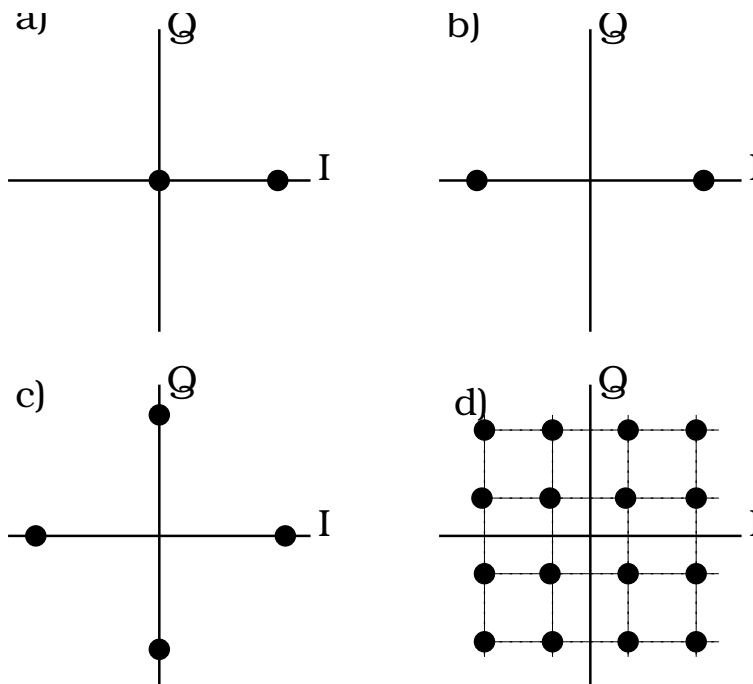
<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 19</p>
---	---	------------------

8 Mehrwertige Modulation und Bandbreitungsverfahren 12 Punkte

8.1 Stellen Sie die Signale s_{m_i} der

4 P

- ASK,
- BPSK,
- QPSK und
- 16-QAM im Signalraum dar!



Eine diskrete Quelle speist 2 Sendegeräte; beide übertragen auf Kanälen mit identischen Eigenschaften; eines arbeitet mit BPSK, das andere mit 16-PSK. Beide Geräte sind so auf den Kanal eingestellt, daß Sie mit der gleichen Bitfehlerrate übertragen.

8.2 Um welchen Faktor unterscheidet sich der Bandbreitebedarf der Sender?

2 P

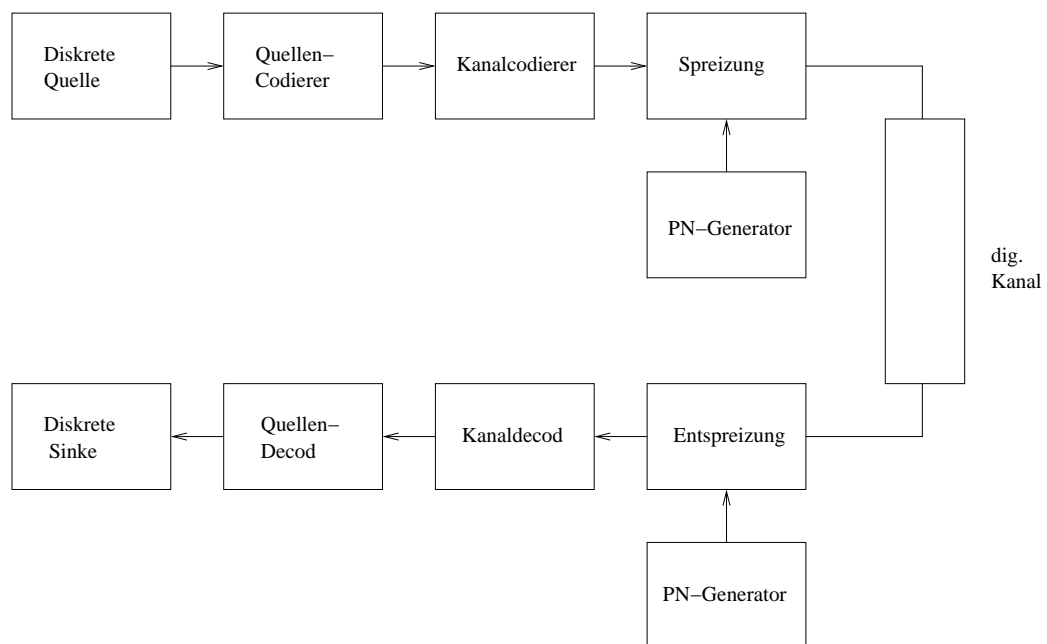
$$\text{Faktor } m = \log_2(16) = 4. \quad B_{16\text{PSK}} = \frac{B_{\text{BPSK}}}{m}.$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003</p>	<p>Blatt: 20</p>
---	---	------------------

8.3 Welches Gerät sendet mit der kleineren mittleren Leistung? Warum? 2 P

Bei gleicher Bitfehlerrate sendet der BPSK mit kleinerer Leistung. Um mit 16-PSK den gleichen Abstand zwischen den Sendesymbolen zu erhalten wie bei BPSK muß mit höherer mittlerer Leistung gesendet werden.

8.4 Zeichnen Sie das Prinzipschaltbild eines Bandspreizverfahrens und beschriften Sie es korrekt! 3 P



8.5 Nennen Sie einen Nachteil des Bandspreizverfahrens! 1 P

Stark erhöhte Bandbreite und hohe Komplexität