

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	4
3	Signalbeeinflussung und Echokompensation	7
4	Analoge Modulationsverfahren (AM - FM)	10
5	Digitale Nachrichtenübertragung	13
6	Binärübertragung im Basisband	15
7	Binäre Modulation	17
8	Mehrwertige Modulation und Bandbreitverfahren	18

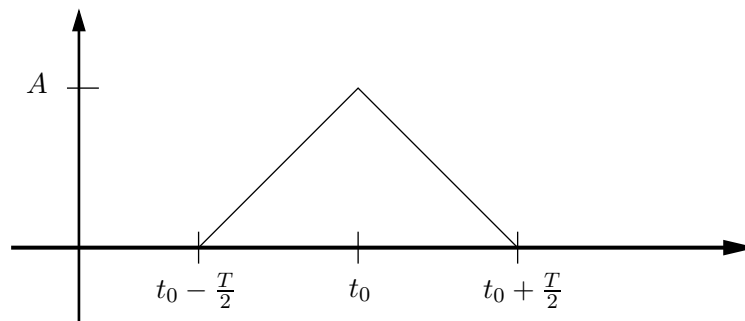
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 2
---	---	----------

1 Fouriertransformation zeitkontinuierlicher Signale 9 Punkte

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

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

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



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

<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>
---	--	-----------------

2 Nachrichtenkanäle

11 Punkte

Ideales Übertragungssystem

- 2.1 Gegeben sei ein ideales Übertragungssystem. An dessen Eingang liege das Signal $u(t) \circ \rightarrow \bullet U(j\omega)$ an. Geben Sie die allgemeine Form des Ausgangssignals $y(t) \circ \rightarrow \bullet Y(j\omega)$ im Zeit- und Frequenzbereich an! Skizzieren Sie Amplituden- und Phasengang des Systems! 2 P
- 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
- b) Geringe sinusförmige Abweichung im Phasengang. Benennen Sie das Phänomen und skizzieren Sie $y(t)$! 1 P

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

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!

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

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

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

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

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

3 Signalbeeinflussung und Echokompensation

10 Punkte

3.1 Präemphase, Deemphase 4 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

b) Skizzieren Sie ein typisches Signalspektrum sowie das Störspektrum (weißes Rauschen) eines Übertragungskanals 3 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: 7</p>
---	---	-----------------

3.2 Prä- und Deemphasefilter 2 P

a) Zeichnen Sie eine für FM-Übertragung übliche Anologschaltung für das Prä- und Deemphasefilter! 1 P

b) Zeichnen Sie den Betragsverlauf typischer Übertragungsfunktionen für Prä- und Deemphasefilter! 1 P

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

3.3 Echokompensation 1 P
Erklären Sie den Unterschied zwischen einer *Echosperre* und einem *Echokompensator*!

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

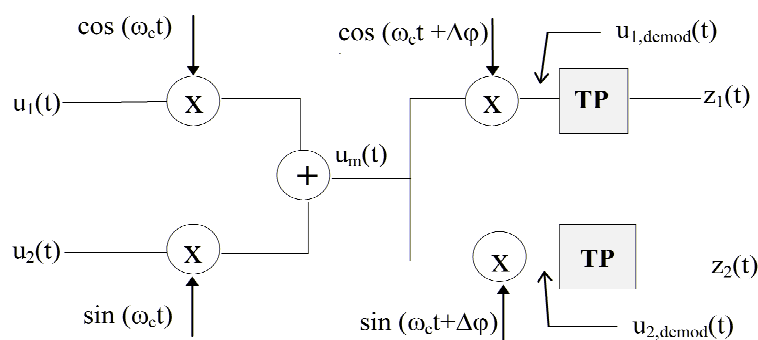
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 9
---	---	----------

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

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

***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 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 19.02.2003</p>	<p style="text-align: center;">Blatt: 10</p>
---	---	--

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

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

- 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?

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

***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

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

1 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: 12</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? Skizzieren Sie (und beschriften Sie!) die Verteilungsdichtefunktion $p_q(q)$! 2 P
- b) Zeigen Sie, dass die Varianz des Quantisierungsfehlers dann zu $\sigma_q^2 = \frac{\Delta^2}{12}$ wird. 2 P
- c) Ein Sinussignal mit Amplitude $\pm A$ werde mit $M = 2^m$ Stufen und einem maximalen Quantisierungsniveau im Quantisierer $u_{\max} = A$ quantisiert. Leiten Sie den sich resultierenden SNR in dB her! 2 P
Hinweise: $\log(2) = 0,301$; $\log(1,5) = 0,176$

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

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

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

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**

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

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

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

***6.4 Berechnen Sie die Bitfehlerwahrscheinlichkeit p_{Bit} ! 2 P**
Hinweis: $\text{erfc}(2) \approx \frac{7}{1500}$, $p_{\text{Bit}} = \frac{1}{2} \text{erfc} \frac{|A_1 - A_0|}{\sqrt{8\sigma_r^2}}$

***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**

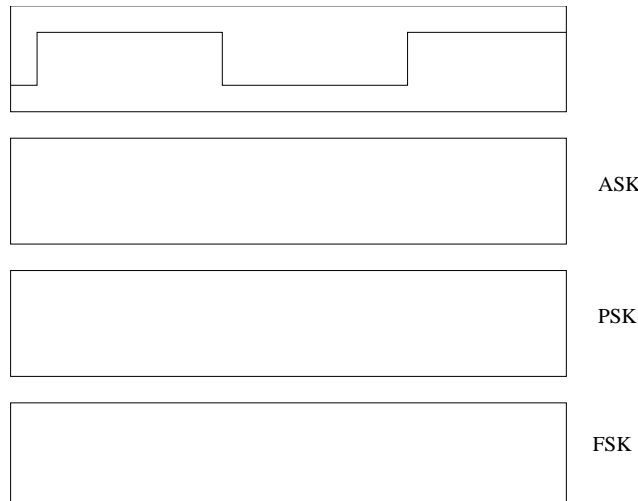
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 19.02.2003	Blatt: 16
--	--	-----------

7 Binäre Modulation

8 Punkte

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

- 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
- 7.4 Welchen Sonderfall der FSK stellt diese Konfiguration dar? 1 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: 17</p>
--	--	------------------

8 Mehrwertige Modulation und Bandbreitungsverfahren 12 Punkte

8.1 Stellen Sie die Signale s_{m_i} der 4 P

- a) ASK,
- b) BPSK,
- c) QPSK und
- d) 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 Bandbreitenbedarf der Sender? 2 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: 18</p>
---	---	------------------

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

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

8.5 Nennen Sie einen Nachteil des Bandpreizverfahrens! 1 P

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