

Nachrichtenübertragung

(Vorlesung I + II und Rechenübung I + II)

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name:

Vorname:

Matr.Nr:

- Diplom E-Technik HF
 Bach./Master Techn. Inf. SF
 Magister KW VF
 Erasmus EF

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	Σ
Max. Punk- tezahl	10	10	10	10	10	10	10	10	80
Erreichte Punktezahl									

Hinweise:

1. Die Fragen zur Rechenübung sind fettgedruckt und mit einem Stern (*) gekennzeichnet!
2. Schreiben Sie die Lösungen jeweils direkt auf den freien Platz unterhalb der Aufgabenstellung.
3. Die Rückseiten können bei Bedarf zusätzlich beschrieben werden. Nummerierungen in diesem Fall nicht vergessen.
4. Sollte auch der Platz auf der Rückseite nicht ausreichen, bitte **kein eigenes Papier verwenden**. Die Klausuraufsicht teilt auf Anfrage **zusätzlich leere Blätter** aus.
5. Taschenrechner sind als Hilfsmittel **n i c h t** erlaubt!
6. Es sind **keine Unterlagen** zur Lösung dieser Klausur zugelassen!
7. Bearbeitungszeit: **150 min**.
8. Bitte **keinen Bleistift** verwenden!

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 1
--	---	----------

Inhaltsverzeichnis

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

1 Nachrichtenkanäle

10 Punkte

Idealisierte Nachrichtenkanäle:

- 1.1 Gegeben sei ein ideales Übertragungssystem. Wie lauten für den allgemeinen Fall die Systemantwort $y(t)$ auf ein Eingangssignal $u(t)$, die Übertragungsfunktion $H(j\omega)$ und die Impulsantwort $h(t)$? 1 P
- 1.2 Welche Eigenschaft gilt für die Impulsantwort $h_l(t)$ eines **linearphasigen** Systems $H_l(j\omega)$? Zeichnen Sie zusätzlich die Sprungantwort $h_\sigma(t)$ eines solchen Systems, so dass diese Eigenschaft erkennbar wird! 2 P
- 1.3 Nennen Sie drei wesentliche Arten der Beschränkung bei der Übertragung von Nachrichten über reale Nachrichtenkanäle und erläutern Sie diese näher! 1,5 P

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

1.4 Nachrichtenleitung 3 P

a) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild eines **differentiellen Leitungsstücks** einer homogenen Leitung! Bezeichnen Sie die einzelnen Bauelemente und erläutern Sie diese! 2 P

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

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

- 1.5 Digitales Kanalmodell 2,5 P
- a) Erläutern Sie das Gilbert-Elliot Kanalmodell für die Mobilfunkübertragung in eigenen Worten! Zeichnen Sie **zusätzlich** das Zustandsdiagramm und bezeichnen Sie es vollständig (Zustände und Übergangswahrscheinlichkeiten)! 1,5 P
- b) Wie werden die Zustände *good* und *bad* festgelegt? 0,5 P
- c) Wie berechnet sich die mittlere Bittfehlerwahrscheinlichkeit p_{Bit} in Abhängigkeit von den Einzelbitfehlerwahrscheinlichkeiten in den Zuständen und den Zustandsübergangswahrscheinlichkeiten? 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 5
--	---	----------

2 Störungen und Störreduktion

10 Punkte

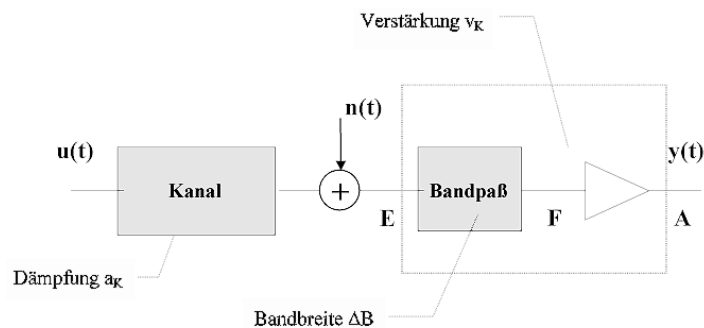
Störungen durch Rauschen

2.1 Welche Eigenschaften besitzt weißes Rauschen?

1 P

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

2 P



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

1 P

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

1 P

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

Echostörungen

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

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

Echokompensation

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

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

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

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

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

3 PAM/PCM

10 Punkte

- 3.1 Nennen Sie 3 Vorteile der digitalen Übertragung von Information gegenüber der analogen Übertragung! 1 P
- 3.2 Nennen Sie 2 Nachteile der digitalen Übertragung gegenüber der analogen Übertragung! 1 P
- 3.3 Zeichnen Sie das Blockschaltbild für den Prozess der Digitalisierung eines Signals $u(t)$ und erklären Sie kurz die einzelnen Elemente! 1,5 P

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

3.4 Mehrwertige Quantisierung 2,5 P

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

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

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

3.5 Gleichförmige Quantisierung: Ruhegeräusch 3 P

a) Zeichnen Sie die Amplitudendichteverteilungen für das **Ruhegeräusch** eines *midriser*- und eines *midtread*-Quantisierers und geben Sie jeweils die Gleichung für $p_{q,ruhe}(q)$ an! Die Stufenhöhe der Quantisierer sei Δ . 1,5 P

b) Berechnen Sie die Ruherauschleistung σ_q^2 für beide Fälle! 1,5 P

3.6 Ungleichförmige Quantisierung 1 P

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

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

4 Kanalcodierung

10 Punkte

Blockcodes

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

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

- a) Geben Sie n , k an und Berechnen Sie die Coderate r ! 1 P
- b) Wieviele zulässige und unzulässige Codewörter gibt es? 0,5 P
- c) Ist der Code *systematisch*? Begründen Sie! 0,5 P
- d) Ist der Code *zyklisch*? Begründen Sie! 1 P
- e) Ist der Code *linear*? Begründen Sie! 1 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 29.10.2004</p>	<p>Blatt: 12</p>
---	--	------------------

Algebraische Codierung von Blockcodes

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

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

$$c_2 = i_1 \oplus i_3$$

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

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

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

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

Hinweis: Bestimmen Sie dafür die Paritätsprüfmatrix \mathbf{H} !

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

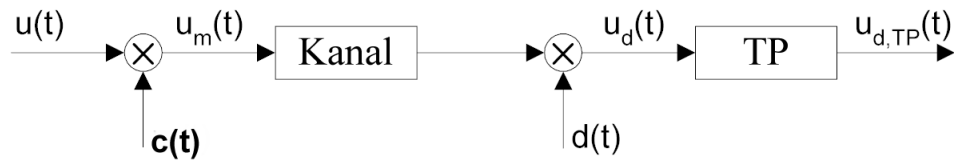
4.3 Wie verändert sich die erforderliche Kanalbandbreite bei einer Übertragung, wenn zu den k Informationsbits noch l Prüfbits hinzukommen? 0,5 P

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

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

5 Analoge Modulation*10 Punkte**

Gegeben sei die folgende Übertragungsstrecke:



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

5.1 Welche Modulationsart wurde verwendet?*0,5 P**

***5.2 Geben Sie das modulierte Signal $u_m(t)$ an und berechnen Sie das Spektrum $U_m(j\omega)$!**

2 P

Hinweis: $\cos(x \pm y) = \cos(x) \cdot \cos(y) \mp \sin(x) \cdot \sin(y)$

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

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

Hinweis: $\cos(x \pm y) = \cos(x) \cdot \cos(y) \mp \sin(x) \cdot \sin(y)$

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

Hinweis: Idealer Tiefpass; $\omega_c \gg \omega_u$ und $\omega_c \gg \Delta\omega$

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

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

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

Hinweis: Achten Sie auf die Bezeichnung der Achsen und die Amplituden der Spektren!

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

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

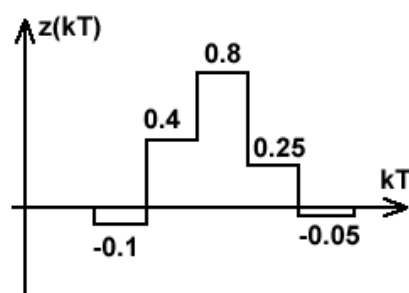
6 Binäre Basisbandübertragung**10 Punkte**

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

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

6.3 Wie ist die Datenverzerrung bei Impulsnebensprechen definiert? 1 P

Gegeben ist die Kanalimpulsantwort:



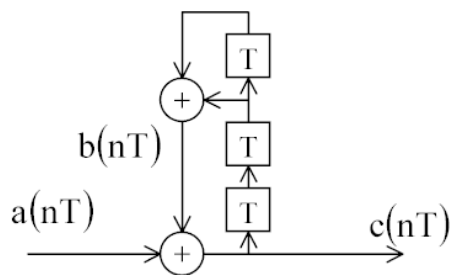
6.4 Berechnen Sie die Datenverzerrung dieser Impulsantwort. 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Gesamtklausur im Lehrgebiet Nachrichtenübertragung am 29.10.2004	Blatt: 18
--	--	-----------

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

1,5 P

Gegeben sei der folgende Scrambler:



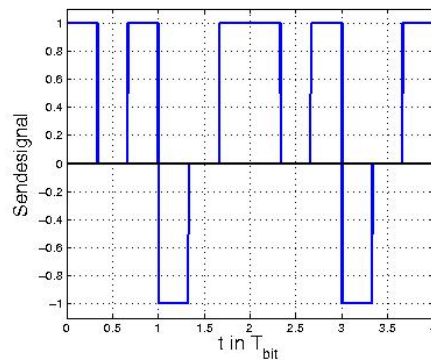
6.6 Nach wievielen Takten wiederholt sich die Ausgangsfolge, wenn am Eingang eine $1,0,0,0,\dots$ -Folge anliegt?

1 P

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

- 6.7 Nennen Sie zwei Vorteile einer bipolaren Übertragung gegenüber einer unipolaren Übertragung! 1 P

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



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

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

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

7 OFDM und Bandspreiz-Übertragungsverfahren 10 Punkte

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

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

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

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

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

7.4 Nennen Sie drei Vorteile von Bandspreizverfahren! 1.5 P

7.5 Welchen wesentlichen Nachteil von Bandspreizverfahren kennen Sie? 0.5 P

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

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

8 Frequenzumtastung (FSK)*10 Punkte**

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

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

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

Hinweis: $\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \mp \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$ und $\text{si}(x) = \sin(x)/x$

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

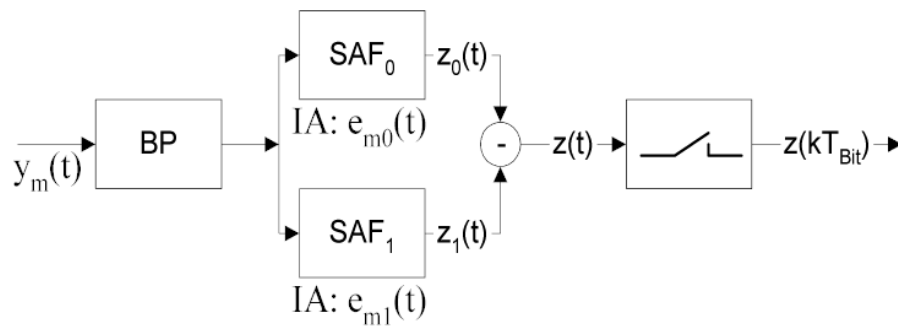
***8.2 Wie groß ist der Frequenzhub Δf_c für die optimale FSK (minimales ρ_{01}) bei gleicher Trägerfrequenz? 1,5 P**

Annahme: $\omega_c T_b \gg 1$

Hinweis: $\text{Min}[\text{si}(x)] = -0.217$ bei $x = 1.4303\pi$.

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

Gegeben sei der folgende FSK-Empfänger:



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

<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 29.10.2004</p>	<p style="text-align: center;">Blatt: 25</p>
---	---	--

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

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

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