

# Nachrichtenübertragung

## Vorlesung II und Rechenübung II

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name: .....

Vorname: .....

Matr.Nr: .....

- Bachelor    ET    VL I  
 Master    TI    RÜ I  
 Diplom    KW    VL II  
 Magister    ...    RÜ II  
 Erasmus

Teilnahme am Bonusprogramm (MC-Test)?    Ja    Nein

Ergebnis im Web mit verkürzter Matr.Nr?    Ja    Nein

Aufgabe	II-1	II-2	BP VL	II-R	BP RÜ
Max. Punkte	10	10	X	10	X
Punkte					

### Hinweise:

1. Die Fragen zur Rechenübung sind **fettgedruckt** und mit dem Zusatz R versehen!
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, ist dennoch **kein eigenes Papier zu 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: **38 min** für VL II, **18,5 min** für RÜ II und **56,5 min** für VL II & RÜ II.
8. Zum Schreiben **keinen Bleistift** und auch **keinen Rotstift** verwenden!

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b> am 22.07.2009	Blatt: 1
--	--	----------

## Inhaltsverzeichnis

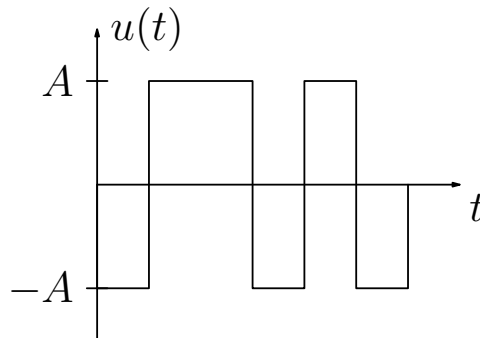
<b>II-1</b>	<b>Binäre Basisbandübertragung</b>	<b>3</b>
<b>II-2</b>	<b>Digitale Modulationsverfahren</b>	<b>7</b>
<b>II-R</b>	<b>Rechenübung: Frequenzumtastung (FSK)</b>	<b>10</b>

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b> am 22.07.2009	Blatt: 2
---	--	----------

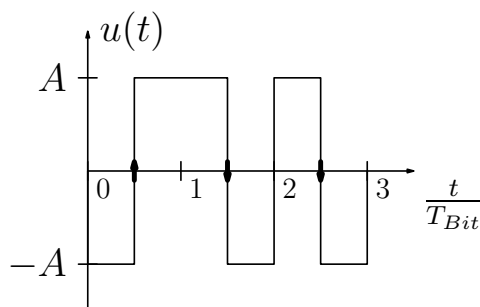
## II-1 Binäre Basisbandübertragung

10 Punkte

- II-1.1 In der folgenden Abbildung ist eine Manchester-codierte Binärfolge dargestellt. 3 P



- a) Geben Sie die codierte Binärfolge an! 1,5 P



Je nach Konvention ist die Binärsequenz  $b = \{1, 0, 0, 1\}$  bzw.  $b = \{0, 1, 1, 0\}$  (für jedes richtige Bit (wenn nicht augenscheinlich geraten, z.B. Vektorlänge falsch) 0,5 Punkte).

- b) Um welchen Faktor würde sich näherungsweise die Bandbreite erhöhen/verringern, wenn bei gleicher Bitrate NRZ-Codierung verwendet werden würde? 0,5 P

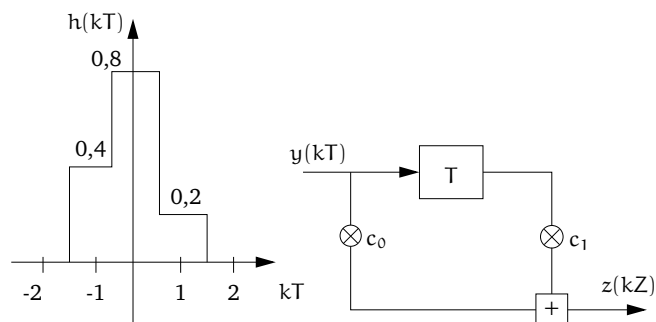
Um den Faktor  $\frac{1}{2}$ .

- c) Nennen Sie zwei Vorteile der Manchester-Codierung gegenüber der NRZ-Codierung! 1 P

<p>Technische Universität Berlin          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung          Vorlesung &amp; Rechenübung II          am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 3</p>
---	--	-----------------

- Erleichterte Taktrückgewinnung/Synchronisierung.
- Mittelwertfreies Signal.

II-1.2 Gegeben seien die folgende Impulsantwort eines Übertragungskanal und das folgende Entzerrungsfilter: 3,5 P



a) Definieren Sie die Datenverzerrung D! 1 P

Die Datenverzerrung D wird definiert als Betragssumme aller Vor- und Nachläufer, bezogen auf den Hauptwert  $z(kT)$ .  $D = \frac{1}{|z(kT)|} \cdot \sum_{\forall l \neq k} |z(lT)|$

b) Berechnen Sie die Datenverzerrung D des Kanals! 0,5 P

$$D = \frac{0,4 + 0,2}{0,8} = \frac{3/5}{4/5} = 0,75$$

c) Berechnen Sie die Filterkoeffizienten, so dass ein Vorläufer kompensiert wird! 2 P

Hinweis:

$$A = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} ; \quad A^{-1} = \frac{1}{a \cdot d - c \cdot b} \begin{pmatrix} d & -b \\ -c & a \end{pmatrix}$$

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b> am 22.07.2009	Blatt: 4
---	--	----------

$$\begin{pmatrix} h(0) & h(-T) \\ h(T) & h(0) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix} \stackrel{!}{=} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{1. Vorläufer} \\ \text{Hauptwert} \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix} = \frac{1}{h(0)^2 - h(T) \cdot h(-T)} \begin{pmatrix} h(0) & -h(-T) \\ -h(T) & h(0) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\frac{16}{25} - \frac{2}{25}} \begin{pmatrix} 4/5 & -2/5 \\ -1/5 & 4/5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix} = \frac{5}{14} \begin{pmatrix} 4 & -2 \\ -1 & 4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\frac{10}{14} \\ \frac{20}{14} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0,7143 \\ 1,4286 \end{pmatrix}$$

II-1.3 Was gibt die Kanalausnutzung  $\eta$  eigentlich an? Wie ist ihre Einheit? 1 P

*Sie gibt an wieviel Bits pro Zeiteinheit (sec.) und Bandbreite (Hz) bei einer spezifischen Übertragung über einen Kanal gesendet werden können.*

*Einheit:  $\frac{\text{bits}}{\text{Hz} \cdot \text{s}}$  - also physikalisch einheitenlos!*

II-1.4 Geben Sie den optimalen Abtastzeitpunkt für einen optimalen SAF-Empfänger an! 0,5 P

$$t_A = T_{\text{Bit}}$$

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b> am 22.07.2009	Blatt: 5
---	--	----------

- II-1.5 Geben Sie die Impulsantwort des optimalen Empfangsfilters  $e(t)$  an, wenn  $s(t)$  der Sendeimpuls ist! 0,5 P

$$e(t) = s(T_{\text{Bit}} - t)$$

- II-1.6 Benennen Sie zwei optimale digitale Empfängerstrukturen! Erläutern Sie, worin diese sich gleichen und unterscheiden! 1 P

*SAF - signalangepasstes Filter: Filterung des Eingangssignals mit optimaler Empfängerimpulsantwort*

*Korrelationsempfänger: Korrelation des Eingangssignals mit dem Sendeimpuls im Empfänger*

*Gleich sind die Werte nach SAF-Filterung und Korrelation für  $kT_b$ . Für alle anderen Zeitpunkte unterscheiden sich die Werte.*

- II-1.7 Geben Sie die optimale Grenzfrequenz für das Tiefpass eines einfachen Empfängers mit Nachabtastung an, wenn die Bitrate  $R_{\text{Bit}} = 100 \text{ kBit/s}$  beträgt und NRZ-Codierung verwendet wird! Die Rauschstörung sei weißes Rauschen der Leistungsdichte  $\frac{N_0}{2}$ . 0,5 P

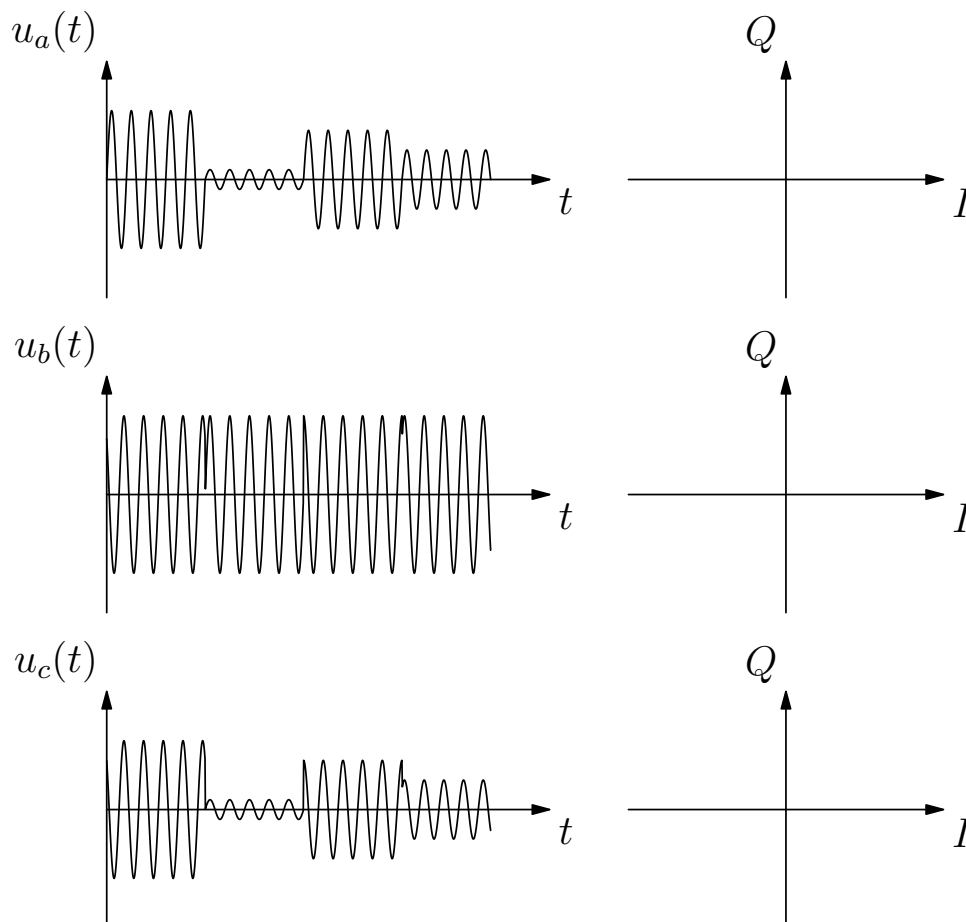
*Die NRZ-Folge hat ein  $\text{si}()^2$ -förmiges Leistungsdichtespektrum. Da bis zur ersten Nullstelle bei  $f = R_{\text{Bit}}$  90% der Signalenergie enthalten sind ist ein Tiefpass mit der Grenzfrequenz  $f_g = 100 \text{ kHz}$  optimal.*

<p><b>Technische Universität Berlin</b>          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung  <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b>          am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 6</p>
--	---	-----------------

## II-2 Digitale Modulationsverfahren

10 Punkte

II-2.1 In der unteren Abbildung sehen Sie drei Ausgangssignale von mehrwertigen Modulationsverfahren. Geben Sie zu jedem Ausgangssignal den Namen des grundsätzlichen Modulationsverfahren an (bspw. M-...) und skizzieren Sie rechts daneben die prototypische Signalraumdarstellung für das jeweilige Verfahren!



a) *M-ASK (0,5 Punkte)*

b) *M-PSK (0,5 Punkte)*

c) *QAM (0,5 Punkte)*

<p>Technische Universität Berlin          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung          Vorlesung &amp; Rechenübung II          am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 7</p>
---	--	-----------------

II-2.2 Welches zweiwertige Modulationsverfahren erreicht bei gegebenem Entscheider-SNR die geringstmögliche Bitfehlerrate  $p_b$ ? 0,5 P

*Die BPSK, da für diese die normierten Kreuzkorrelationskoeffizienten der Sendepulse den kleinsten Wert von  $-1$  erreichen kann.*

II-2.3 Was genau ist eine MSK? Warum werden dabei immer zwei Bits zusammen codiert? 1 P

*Die MSK ist die orthogonale FSK mit dem geringsten Frequenzhub und somit dem geringsten Bandbreitebedarf (0,5 Punkte). Zudem werden zwei aufeinanderfolgende Bits zusammen codiert, um Phasensprünge zu vermeiden (0,5 Punkte).*

II-2.4 Was ist der Vorteil der DPSK gegenüber der BPSK? 0,5 P

*Es wird kein kohärenter Träger benötigt, da nur die Phasenunterschiede zwischen den Bits ausgewertet werden.*

II-2.5 Es werden im Frequenzbereich  $N$  QPSK-Signale mit verschiedene Trägerfrequenzen zeitgleich übertragen werden. Erläutern Sie den Unterschied zwischen konventionellen Frequenzmultiplex und orthogonalen Frequenzmultiplex (unter der Annahme von QPSK-Signalen und der Vernachlässigung von Sicherheitsabständen zwischen benachbarten Bandbereichen, Hinweis:  $B_{km,QPSK} = R_{bit}$ )? Argumentieren Sie mit der Kanalbandbreite und der Kanalausnutzung und geben Sie jeweils diese Größen für FDM und OFDM an! 3 P

*Für Frequenzmultiplex werden nicht-überlappende Frequenzbereiche benötigt, was zu einer Bandbreite von  $B_{km,fdm} = N \cdot R_{bit}$  für QPSK führt. Für OFDM lassen sich jedoch überlappende Teilbänder verwenden. Diese Möglichkeit ergibt sich aus der Orthogonalität der OFDM-Sendesignale der Teilbänder zueinander.*

*Die Träger müssen beim OFDM nicht mehr wie beim FDM  $B_{km,QPSK} = R_{bit}$  voneinander entfernt sein, sondern können einen Abstand  $\Delta f = R_{bit}/(2N)$  haben.*

*Die Kanalausnutzung wird von  $\eta = 1 \text{ Bit/s/Hz}$  für FDM mit QPSK auf  $\eta = 2 \text{ Bit/s/Hz}$  für OFDM mit QPSK vergrößert und daher Bandbreite bei gleicher Bitrate eingespart.*

<p>Technische Universität Berlin                  Fachgebiet Nachrichtenübertragung                  Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung                  Vorlesung &amp; Rechenübung II                  am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 8</p>
---	--	-----------------



II-2.6 Geben Sie 2 Vorteile des Bandspreizverfahrens gegenüber der klassischen Modulation an! 1 P

- *Robustheit gegen schmalbandige und rauschartige Störungen.*
- *Übertragung als schwache Rauschstörung in bereits genutzten Frequenzbereichen.*
- *Übertragung wird verschleiert/versteckt und*
- *Übertragung wird quasi-verschlüsselt.*

II-2.7 Ein NRZ-codiertes Binärsignal der Bitrate  $R_B = 1200 \text{ Bit/s}$  soll mit einem *Direct-Sequence*-Bandspreizverfahren übertragen werden. Das Verhältnis  $T_b/T_c$  beträgt  $1/5$ . Wie hoch ist ungefähr die Bandbreite des modulierten Signals? 1 P

*Hinweis: Für die Abschätzung die Nullbandbreiten  $B_0$  verwenden.*

*Die Nullbandbreite des modulierenden Signals beträgt  $B_0 = 1,2 \text{ kHz}$ . Somit beträgt der Bandbreitebedarf des modulierten Signals*

$$N_{\text{spreiz}} = T_c/T_b = 5$$

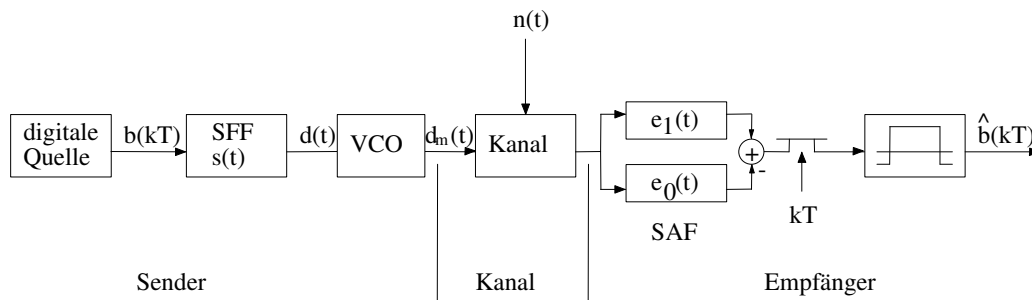
$$B_{\text{spreiz}} = N_{\text{spreiz}} \cdot B_0 = 5 \cdot 1,2 \text{ kHz} = 6 \text{ kHz}$$

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung & Rechenübung II am 22.07.2009	Blatt: 9
--	---	----------

## II-R Rechenübung: Frequenzumtastung (FSK)

10 Punkte

- II-R.1 Bei einer binären Übertragung über einen digitalen Kanal werde Frequenzumtastung (FSK) als Modulationstechnik verwendet. Die Bitrate des Kanals betrage  $R = 3200$  Bit/s. Die Trägerfrequenz betrage  $f_c = 64$  kHz und der Frequenzhub sei  $\Delta f_c = 12$  kHz. Die Bitenergie  $E_b$  betrage  $\frac{1}{4} \cdot 10^{-2} \text{ V}^2\text{s}$ . Das Signal werde beim Empfänger asynchron demoduliert. Gegeben sei die folgende digitale Übertragungsstrecke:



- a) Wie groß ist der Bandbreitebedarf im Basisband bei einem Roll-off von  $r = 1/2$ ? Welche Kanalbandbreite  $B_{K_m}$  ist näherungsweise erforderlich? Handelt es sich um Schmalband- oder Breitband-FSK? 2 P

$$B_{K_b} = \frac{R}{2} (1 + r) = 2400 \text{ Hz}$$

$$B_{K_m} \approx 2 \cdot \Delta f_c, \text{ da } \Delta f_c \gg \frac{R}{2}$$

$$\approx 24000 \text{ Hz} \Rightarrow \text{Breitband - FSK}$$

<p>Technische Universität Berlin                  Fachgebiet Nachrichtenübertragung                  Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Nachrichtenübertragung                  Vorlesung &amp; Rechenübung II                  am 22.07.2009</p>	<p>Blatt: 10</p>
---	--	------------------

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

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

- b) Berechnen Sie die Amplitude  $A$  der Sendesignale so, dass diese eine Bitenergie von  $E_b = \frac{1}{4} \cdot 10^{-2} \text{ V}^2 \text{ s}$  aufweisen. 1 P

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} = \sqrt{\frac{2E_b}{1/R}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ V}^2 \text{ s} \cdot 3200}{4 \cdot \text{s}}} = 4 \text{ V} \end{aligned}$$

- c) Geben Sie die Impulsantworten  $e_0(t)$  und  $e_1(t)$  des signalangepassten Filters (SAF) an! 1 P

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

<b>Technische Universität Berlin</b> Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b> am 22.07.2009	Blatt: 11
---	--	-----------

- d) Berechnen Sie die normierte Kreuzkorrelation  $\rho_{01}$  der Sendesignale! Um welches FSK-Verfahren handelt es sich ? 3,5 P

$$\begin{aligned}
 \rho_{01} &= \frac{1}{E_b} \int_0^{T_b} d_{m,0}(t) \cdot d_{m,1}(t) dt \\
 &= \frac{1}{E_b} \int_0^{T_b} \frac{2E_b}{T_b} \cos(\omega_c t - \Delta\omega_c t) \cdot \cos(\omega_c t + \Delta\omega_c t) dt \\
 &= \frac{2}{T_b} \int_0^{T_b} \frac{1}{2} [\cos(2\omega_c t) + \cos(2\Delta\omega_c t)] dt \\
 &= \frac{1}{T_b} \left[ \frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c t) \Big|_0^{T_b} + \frac{1}{2\Delta\omega_c} \sin(2\Delta\omega_c t) \Big|_0^{T_b} \right] \\
 &= \frac{1}{2\omega_c} \sin(2\omega_c T_b) + \frac{1}{2\Delta\omega_c} \sin(2\Delta\omega_c T_b) \\
 &= \text{si}(2\omega_c T_b) + \text{si}(2\Delta\omega_c T_b) \\
 &= \text{si}(80\pi) + \text{si}(15\pi) = 0 \Rightarrow \text{orthogonale FSK}
 \end{aligned}$$

<p style="text-align: center;"><b>Technische Universität Berlin</b>          Fachgebiet Nachrichtenübertragung          Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p style="text-align: center;">Klausur Nachrichtenübertragung  <b>Vorlesung &amp; Rechenübung II</b>          am 22.07.2009</p>	<p style="text-align: center;">Blatt: 12</p>
--	---	--

- e) Wie muss der Frequenzhub  $\Delta f_c$  gewählt werden, wenn bei gleicher gegebener Trägerfrequenz  $f_c$  eine MSK (minimum shift keying) als Modulation verwendet werden soll? Handelt es sich dann um eine Schmalband- oder Breitband-FSK? 2,5 P

$$\begin{aligned}\rho_{01} &= \text{si}(2\omega_c T_b) + \text{si}(2\Delta\omega_c T_b) \approx \text{si}(2\Delta\omega_c T_b) \\ \Rightarrow 2\Delta\omega_c T_b &= k\pi \quad (\text{für MSK ist } k = 1) \\ \Rightarrow 2 \cdot 2\pi\Delta f_c \cdot \frac{1}{R} &= \pi \\ \Rightarrow \Delta f_c &= 800 \text{ Hz}\end{aligned}$$

*Es handelt sich um Schmalband-FSK.*

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Nachrichtenübertragung Vorlesung & Rechenübung II am 22.07.2009	Blatt: 13
--	---	-----------