

Klausur
Einführung in die Nachrichtenübertragung
Vorlesung und Rechenübung

- Prof. Dr.-Ing. Thomas Sikora -

Name: Vorname:

Matr.Nr:
 Bachelor ET Vorlesung
 Master TI Rechenübung
 Magister KW
 Erasmus

Teilnahme am Bonusprogramm (MC-Test)? Ja Nein

Ergebnis im Web mit verkürzter Matr.Nr? Ja Nein

Aufgabe	1	2	3	4	R	BP
Max. Punkte	10	10	10	10	10	X
Punkte						

Hinweise:

1. Die **Aufgabe zur Rechenübung hat den Zusatz R!**
2. Schreiben Sie die Lösungen jeweils direkt auf den freien Platz unterhalb der Aufgabenstellung.
3. Die **Rückseiten** können bei Bedarf zusätzlich beschrieben werden. Nummerierungen für die zugehörigen Aufgaben 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. **Nicht programmierbare** Taschenrechner sind als Hilfsmittel erlaubt!
6. Es sind **keine Unterlagen** zur Lösung dieser Klausur zugelassen!
7. Die **Nutzung von Mobiltelefonen** oder anderen elektronischen Geräten (mit Ausnahme des nichtprogrammierbaren Taschenrechners und Uhren) ist **verboten**.
8. Bearbeitungszeit: **90 min** für Vorlesung und Rechenübung, **73 min** nur für die Vorlesung
9. Zum Schreiben **keinen Bleistift** und auch **keinen Rotstift** verwenden!

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 1
---	--	----------

Inhaltsverzeichnis

1	Statistische Nachrichtentheorie	3
2	Analoge Modulation	6
3	Pulsamplitudenmodulation/Pulsmodemodulation	11
4	Binäre Basisbandübertragung/Modulation	16
R	Rechenübung: Binärübertragung	20

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 2
---	--	----------

1 Statistische Nachrichtentheorie

10 Punkte

1.1 Grundlagen

3 P

- a) Geben Sie die Kolmogoroff-Axiome an und beschreiben Sie kurz jeweils deren Bedeutung! 1,5 P

siehe Skript 4.3.2 (Seite 95-96)

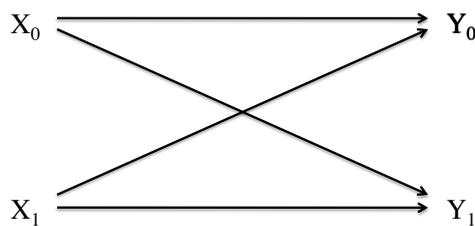
- b) Gegeben sei eine Zufallsvariable Z , mit einer kontinuierlichen Gleichverteilung zwischen -1 und 1 . Berechnen Sie die Varianz von Z . 1,5 P

$$p(z) = 1/2 \text{ für } -1 < z < 1, \text{ da } Z \text{ gleichverteilt}$$

$$\sigma_z^2 = E[z^2] - E[z]^2 = \int_{-1}^1 1/2 z^2 dz - \left(\int_{-1}^1 1/2 z dz\right)^2$$

$$\sigma_z^2 = 1/2 [z^3/3]_{-1}^1 - 0 = 1/2(1/3 - (-1/3)) = 1/3$$

1.2 Symmetrischer binärer Kanal

7 P


Gegeben Sei ein Nachrichtenkanal mit normalverteiltem weißem Rauschen. Das Rauschen sei mittelwertfrei und habe eine Varianz von $\sigma_x = 1$. Auf diesem Kanal werden binäre Symbole als eine Reihenfolge von Rechtecksignalen übertragen, wobei für jedes X_1 ein Rechteck mit der Amplitude $3V$ und für jedes X_0 kein Rechteck ($0V$ Amplitude) gesendet wird.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 3</p>
---	---	-----------------

- a) Bitte skizzieren Sie die Amplitudendichteverteilung $p(Y|X = 0)$ am Empfänger. 1 P

Gaußkurve bei 0 V

- b) Wie kann aus $p(Y|X = 1)$ und $p(Y|X = 0)$ die gesamte ADV $p(Y)$ berechnet werden? Bitte schreiben Sie die Formel dafür. 1 P

$$p(Y) = p(X=0) p(Y|X=0) + p(X=1) p(Y|X=1)$$

- c) Skizzieren Sie die gesamte Amplitudendichteverteilung $p(Y)$, wenn die beiden Symbole am Sender gleichverteilt sind. 1 P

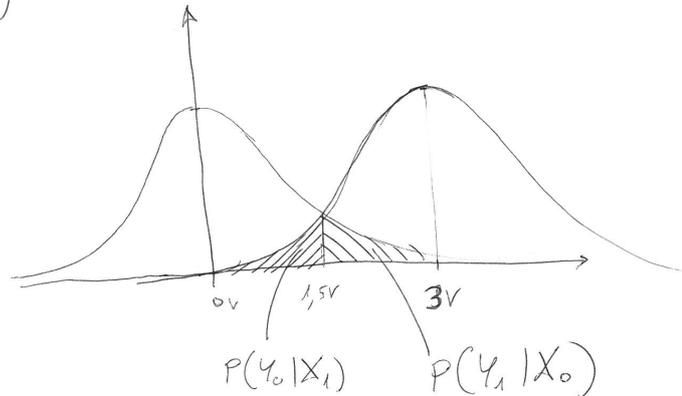
Überlagerung von zwei Gaußkurven bei 0 V und bei 3 V.

- d) Bitte berechnen Sie die Übergangswahrscheinlichkeiten $P(Y_1|X_0)$ und $P(Y_0|X_1)$. Dafür können Sie die folgende Tabelle zur Hilfe ziehen. (Hinweis: $\text{erf}(x) = \frac{2}{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt$) 3 P

x	erf(x)
0	0.00
1.0	0.8427
1.5	0.9661
2.0	0.9953
3.0	0.99998

<p>Technische Universität Berlin</p> <p>Fachgebiet Nachrichtenübertragung</p> <p>Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die</p> <p>Nachrichtenübertragung</p> <p>am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 4</p>
---	---	-----------------

1.2.) d)



$$P(Y_1|X_0) = P(Y_0|X_1) = \frac{1 - \operatorname{erf}(1,5)}{2} = 0,0170$$

- e) Wie groß ist die Zuverlässigkeit des Empfängers wenn beim Empfänger Y_0 auftritt? (X_0 und X_1 sind gleich wahrscheinlich) (Hinweis: Verwenden Sie eine Bitfehlerwahrscheinlichkeit von 10%, falls Sie keine Werte von der obigen Aufgabe haben.) 1 P

$$\begin{aligned}
 1.2.) e) \text{ Zuverlässigkeit} &= P(Y_0|X_0) = P(Y_1|X_1) \\
 &\quad \text{da } P(X_0) = P(X_1) \\
 &= 1 - P(Y_1|X_0) \\
 &= \begin{cases} = 0,983 & \text{wenn Ergebnis vorhanden} \\ & \text{für 1.2. d)} \\ = 0,9 & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 5</p>
---	---	-----------------

2 Analoge Modulation

10 Punkte

2.1 AM-Modulation: Gegeben sei eine symmetrische Rechteckfolge mit der Frequenz ω_u und der Amplitude 2 V. Diese Folge soll mit einer Frequenz von $\omega_c = 5 \cdot \omega_u$ ZSB-AM moduliert werden. 8 P

a) Geben Sie mathematische Beschreibung von dem modulierten Signal sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich an! 2 P

$$u(t) = \delta_{T_u}(t) * A \Pi_{T_u/2}(t) = A \sum_{\forall k} \Pi_{T_u/2}(t - kT_u)$$

$$U(j\omega) = \frac{2\pi}{T_u} \delta_{2\pi/T_u}(\omega) \cdot \frac{T_u}{2} \text{si}\left(\frac{\omega T_u}{2}\right)$$

$$u_m(t) = u(t) \cdot \cos(\omega_c t) = u(t) \cdot \cos(5\omega_u t)$$

$$U_m(j\omega) = \frac{1}{2\pi} U(j\omega) * \pi[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)]$$

$$u_m(t) = [\delta_{T_u}(t) * A \Pi_{T_u/2}(t)] \cdot \cos(5\omega_u t) = A \cos(5\omega_u t) \sum_{\forall k} \Pi_{T_u/2}(t - kT_u)$$

$$U_m(j\omega) = \frac{1}{2\pi} \frac{2\pi}{T_u} \delta_{2\pi/T_u}(\omega) \cdot A \frac{T_u}{2} \text{si}\left(\frac{\omega T_u}{2}\right) * \pi[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)]$$

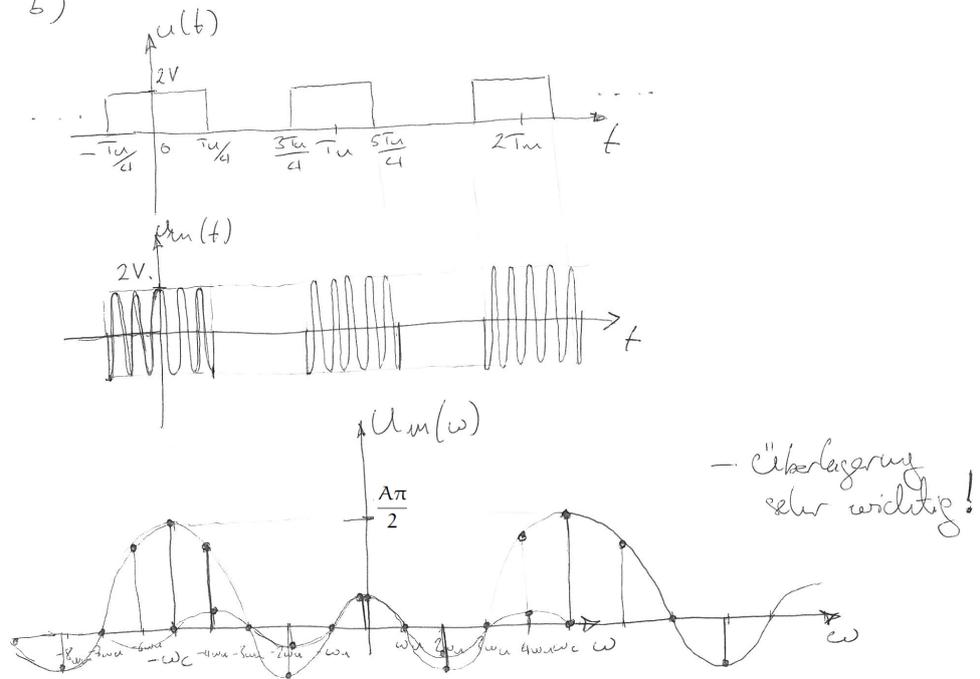
$$U_m(j\omega) = \delta_{2\pi/T_u}(\omega) \cdot \frac{A}{2} \text{si}\left(\frac{\omega T_u}{4}\right) * \pi[\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)]$$

$$U_m(j\omega) = \frac{A\pi}{2} \delta_{2\pi/T_u}(\omega) \cdot \left[\text{si}\left(\frac{(\omega + \omega_c)T_u}{4}\right) + \text{si}\left(\frac{(\omega - \omega_c)T_u}{4}\right) \right]$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 6</p>
---	---	-----------------

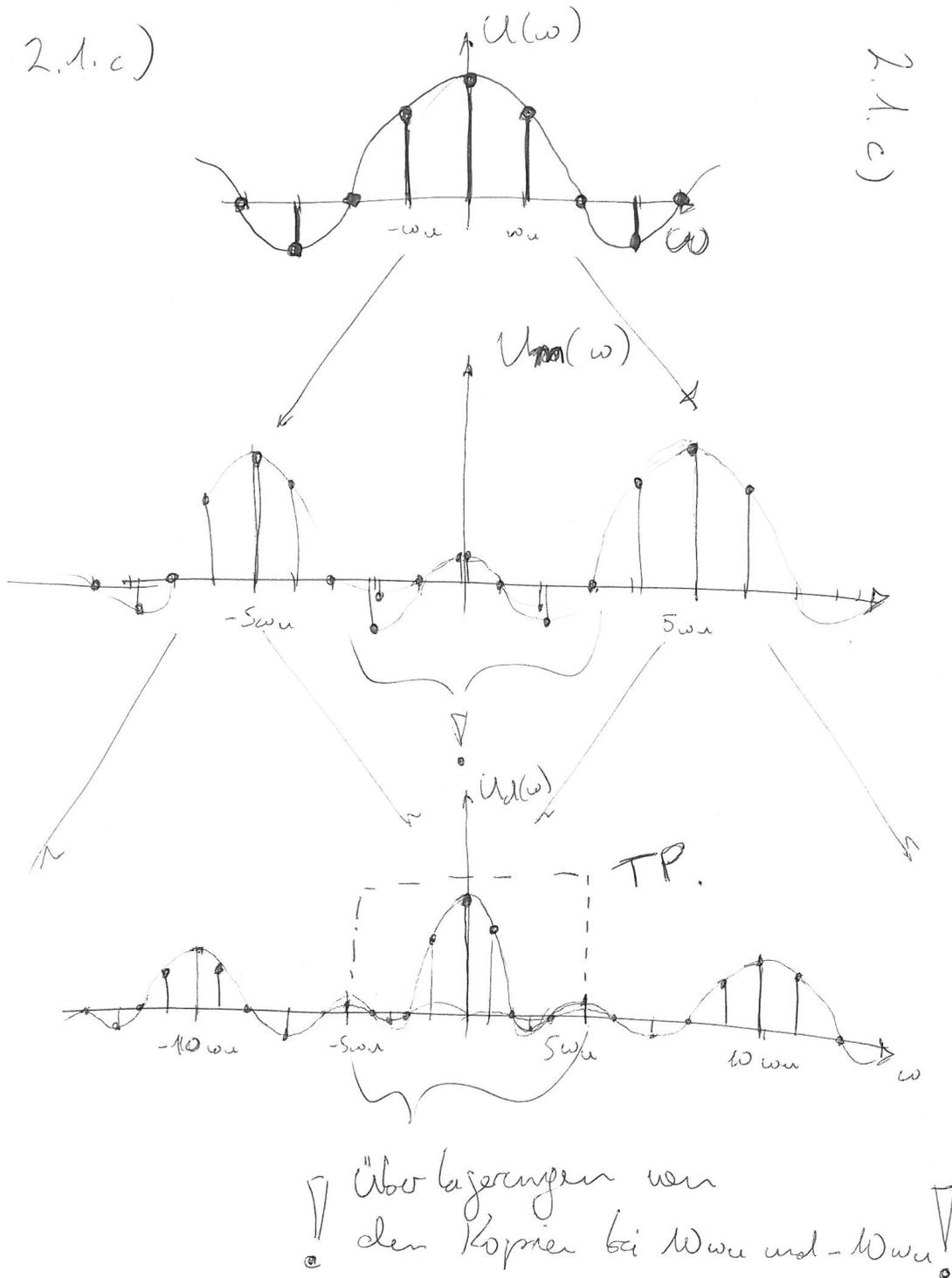
- b) Zeichnen Sie bitte das modulierte Signal sowohl im Zeitbereich als auch im Frequenzbereich. Achten Sie auf die Beschriftung der Achsen! 2 P

2.1. b)



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 7</p>
---	---	-----------------

c) Führen Sie eine synchrone Demodulation graphisch oder mathematisch durch! 1 P

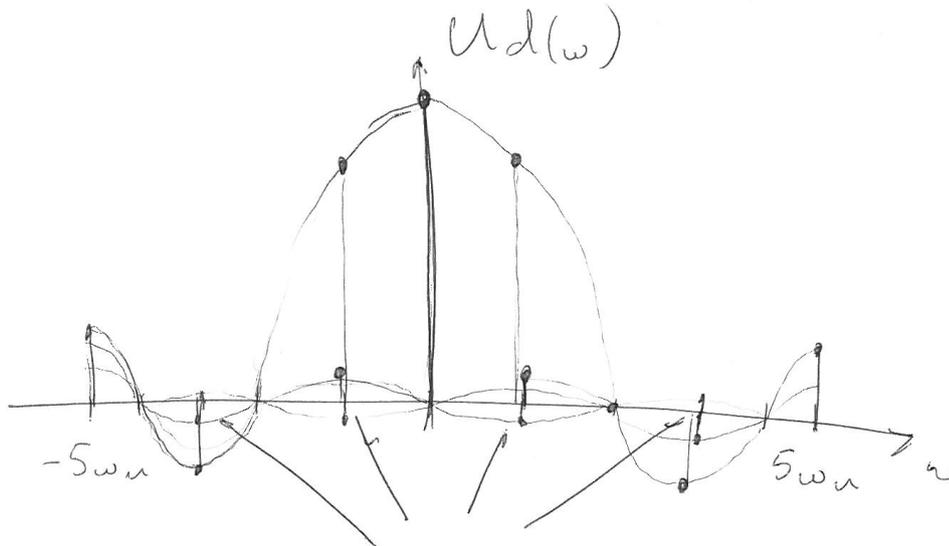


<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 8</p>
---	---	-----------------

- d) Skizzieren Sie das demodulierte Signal im Frequenzbereich! Was fällt auf?
Was wäre der richtige Ansatz für die Verbesserung des demodulierten Signals?

3 P

2.1.) d)



unerwünschte Frequenz-
komponenten vor der
Kopplung bei $|\omega_c|$

Diese Überlagerungen sind wie
Störsig. Vor der AM Modulation
müßte das Signal Bandbegrenzt
werden (TP-Filter)

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 9</p>
---	---	-----------------

2.2 FM-Modulation

2 P

- a) Vergleichen Sie das Rauschverhalten von FM zur AM. Behalten Sie Vor- und Nachteile im Auge.

2 P

Die FM-Modulation ist robuster gegenüber additivem Rauschen, da sich das Rauschen nicht direkt auf den Amplitudenverlauf des demodulierten Signals auswirkt. Das SNR kann beliebig durch Erhöhung der Kanalbandbreite vergrößert werden, wobei jedoch ein erhöhter Kanalbandbreitenbedarf in Kauf genommen werden muss.

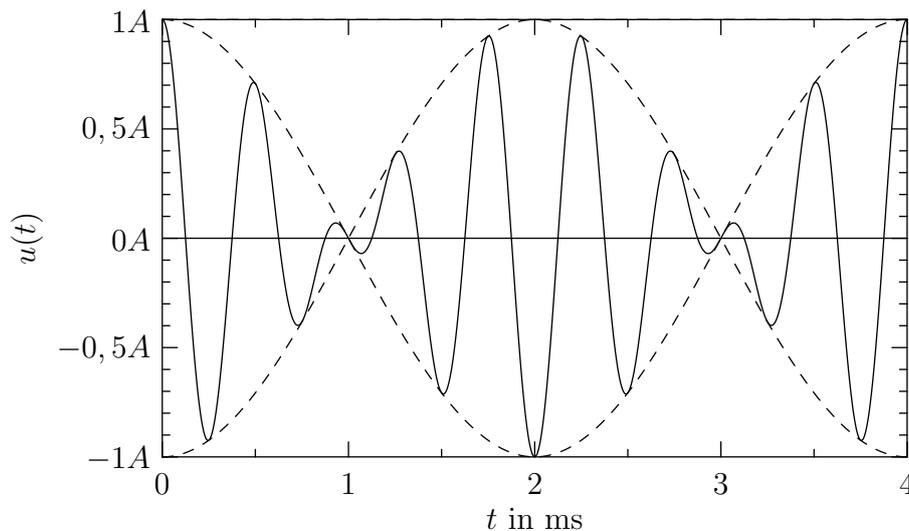
<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 10</p>
---	---	------------------

3 Pulsamplitudenmodulation/Pulsmodulation 10 Punkte

3.1 Abtastung

4,5 P

Gegeben Sei das folgende Signal:



- a) Geben Sie die Bandbreite und die minimale Abtastfrequenz für das gegebene Signal an! 0,5 P

Ansatz für das Signal: $u(t) = \cos(\omega_1 t) \cdot \cos(\omega_2 t)$ mit $\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}$ und $\omega_2 = \frac{2\pi}{T_2}$
 Ablesen der Periodendauern der Cosinus-Funktionen: $T_1 = 0,5 \text{ ms} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$
 und $T_2 = 4 \text{ ms} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ s}$

Frequenzen ergeben sich dann zu:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{10000}{5 \cdot \text{s}} = 2000 \text{ Hz}$$

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1000}{4 \cdot \text{s}} = 250 \text{ Hz}$$

Da das 250-Hz-Cosinussignal mit 2000 Hz moduliert wurde, ist die Bandbreite des Basisbandsignals (maximale Frequenzkomponente) gleich

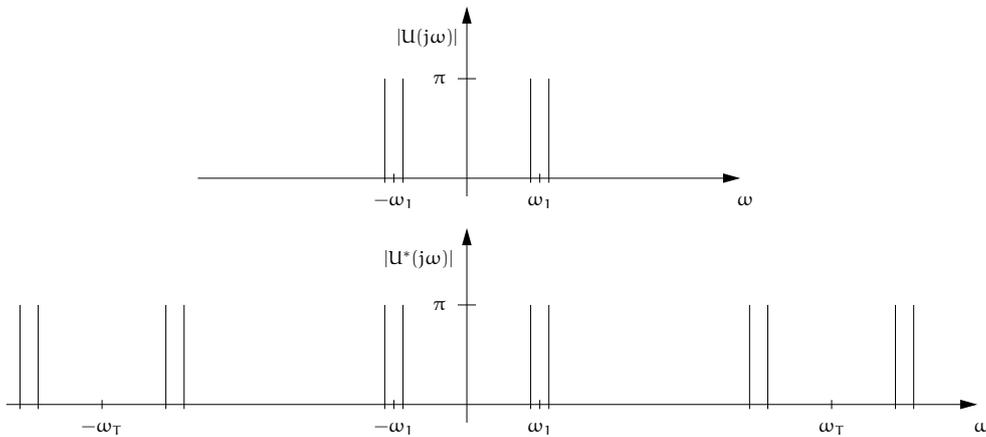
$$B_q = f_1 + f_2 = 2250 \text{ Hz}$$

Minimale Abtastfrequenz ist dann

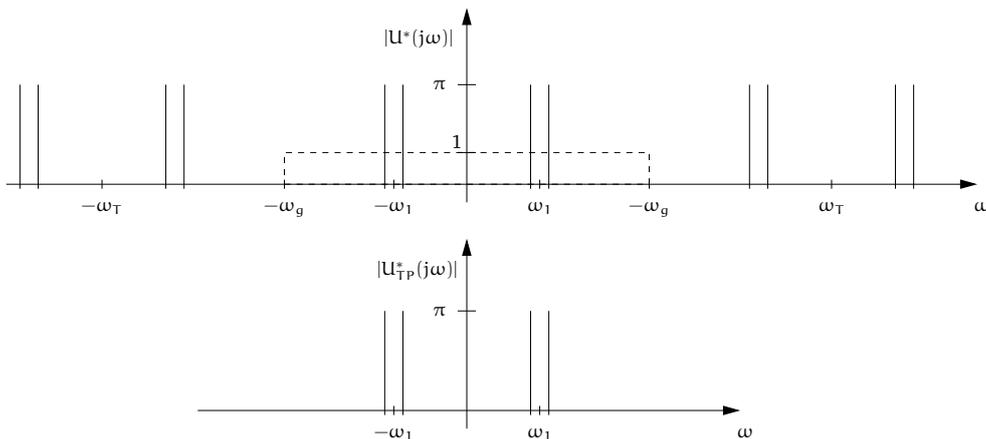
$$f_T \geq 2B_q = 4500 \text{ Hz}$$

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 11</p>
---	---	------------------

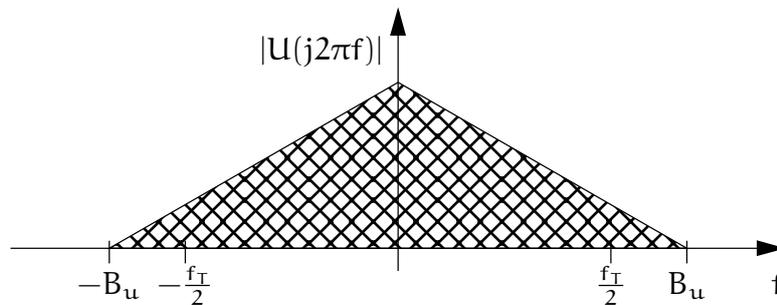
- b) Das Signal aus 3.1 a) wird mit 10 kHz ideal abgetastet. Zeichnen Sie das Spektrum für das abgetastete Signal! Achten Sie auf die korrekte Bezeichnungen der Achsen! Geben Sie Werte an! 1 P



- c) Finden Sie die ideale Rekonstruktion des abgetasteten Signals und zeichnen Sie das Spektrum des rekonstruierten Signals! Zur Rekonstruktion wird ein idealer Tiefpass mit 5 kHz Grenzfrequenz verwendet. 1 P



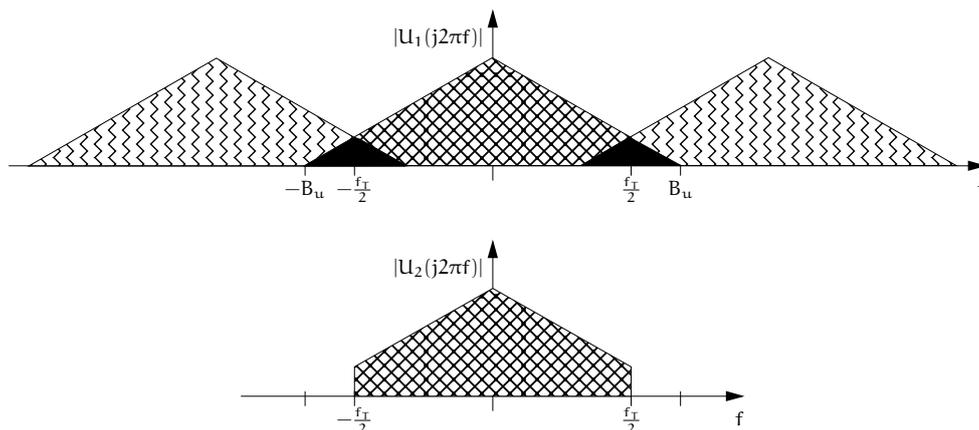
- d) Angenommen ein Basisbandsignal hat das folgende Betragsspektrum $|\mathcal{U}(j\omega)|$ und wird mit einer Abtastfrequenz f_T abgetastet. Wie groß ist die Fehlerenergie für das durch die fehlerhafte Abtastung gestörte Spektrum im Vergleich zum Originalspektrum? Wie groß wäre die Fehlerenergie durch vorherige Tiefpassfilterung?



Bei der Abtastung **ohne** vorheriger Tiefpassfilterung entstehen aufgrund der periodischen Wiederholungen des Basisbandspektrums bei Vielfachen der Abtastfrequenz Spiegelungsfehler wie sie beim Amplitudenspektrum $\mathcal{U}_1(j\omega)$ zu sehen sind.

Bei der Abtastung **mit** vorheriger Tiefpassfilterung entstehen nur Fehler aufgrund der Tiefpassfilterung wie im Amplitudenspektrum $\mathcal{U}_2(j\omega)$ zu sehen ist.

Die Fehlerenergie ist für die Spiegelungsfehler doppelt so groß, als wenn mit der Tiefpassfilterung vorher das Signal bandbegrenzt wurde.



<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 13</p>
---	---	------------------

3.2 Quantisierung

5,5 P

- a) Wieso lohnt es sich Quantisierungsfehler bei digitalisierten Signalen im Vergleich zu den analogen Signalen in Kauf zu nehmen? Berücksichtigen Sie bei der Erklärung die Entfernung von Sender und Empfänger sowie die benötigte Bandbreite! 1 P

Digitale Signale können über beliebig lange Strecken mit zwischengeschalteten Regeneratoren immer wieder exakt als gleiches Sendesignal in einem neuen Teilabschnitt der Strecke gesendet werden (Annahme: kein verfälschendes Kanalrauschen oder Kanalcodierung und damit verbundene Fehlerkorrektur gewährt sicheren Schutz des digitalen Signals). Für die Übertragung des digitalen Signals erhöht sich jedoch der Bandbreitenbedarf im Vergleich zur Basisbandbreite des analogen Signals.

- b) Warum ist besonders bei der Quantisierung von analogen Signalen, bei denen sehr kleine Werte gehäuft auftreten, dem midtread-Quantisierer den Vorzug vor dem midriser-Quantisierer zu geben? 0,5 P

Ruherauschen für midriser-Quantisierer kann beim midtread-Quantisierer nicht auftreten.

- c) Die Genauigkeit einer Quantisierung soll um 1 Bit erhöht werden. Wie verändert sich das Signal-zu-Rausch-Verhältnis (SNR) in dB (logarithmisch) zwischen dem zu quantisierenden Signal und dem Quantisierungsrauschen? 0,5 P

Zunahme des SNR um 6,02 dB für jedes zusätzliche Bit.

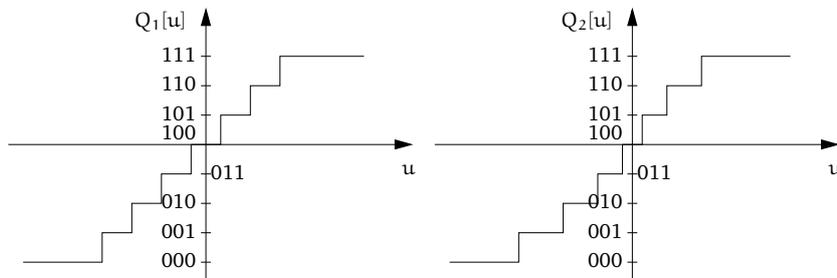
Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 14
--	--	-----------

- d) Ist die Veränderung des SNR aus Aufgabe 3.2 c) abhängig von der Form der Quantisierungskennlinie oder Amplitudendichteverteilung des zu quantisierenden Signals? Antwort begründen! 0,5 P

Nein! Da Kennlinienform und ADV sich zusammen als Faktor α in der SNR-Gleichung wiederfinden.

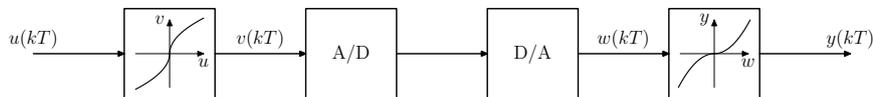
- e) Zeichnen Sie die Quantisierungskennlinie für eine gleichförmige **und** eine ungleichförmige 3 Bit-midtread-Quantisierung! Achten Sie auf die korrekte Beschriftung der Achsen! 2 P

Gleichförmige midtread-Quantisierungskennlinie $Q_1[u]$ und ungleichförmige midtread-Quantisierungskennlinie $Q_2[u]$



- f) Durch welches Verfahren kann die ungleichförmige Quantisierung mithilfe eines gleichförmigen Quantisierers realisiert werden? Zeichnen Sie das Blockschaltbild für eine solche D/A-A/D Wandlung und Beschreiben Sie die einzelnen Blöcke! 1 P

Kompandierung

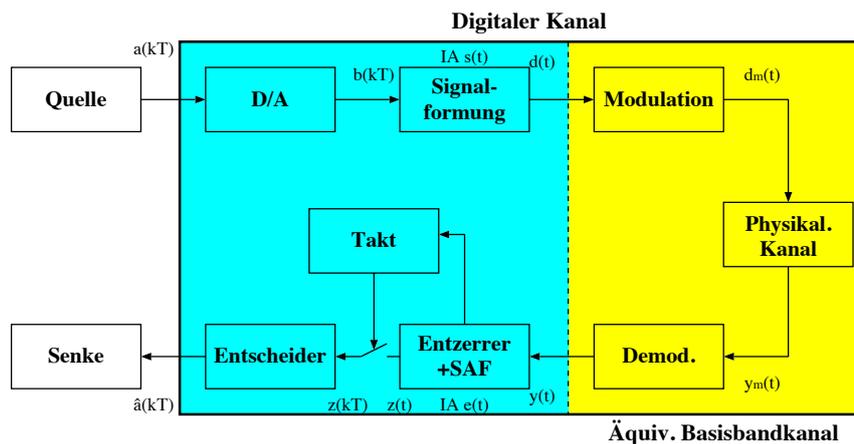


<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 15</p>
---	---	------------------

4 Binäre Basisbandübertragung/Modulation

10 Punkte

- 4.1 Skizzieren Sie als Blockdiagramm die Einzelsysteme eines digitalen Kanals, der ohne Modulation eine Übertragung im Basisband realisiert. Beginnen Sie mit einer digitalen Quelle und beenden Sie das Diagramm mit einer digitalen Senke. 1 P



Ohne Modulations- und Demodulationsblöcke

- 4.2 Nyquistbedingung für Sendesignale 4 P

- a) Was stellt die Nyquistbedingung für Sendesignale bei idealem Kanal und synchroner Nachabtastung am Empfänger sicher? 0,5 P

Stellt sicher, dass es zu keinen Intersymbolinterferenzen (ISI)/Symbolübersprechen kommt.

- b) Wie ist die Nyquistbedingung im Zeitbereich definiert? 0,5 P

$$s(kT_{\text{Bit}}) \stackrel{!}{=} \begin{cases} 1, & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$$

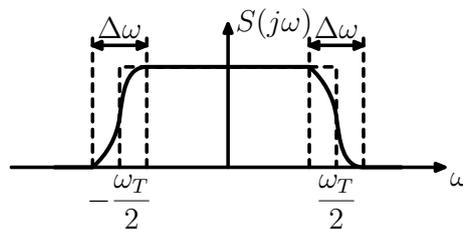
- c) Angenommen, die Nyquistbedingung ist für ein Sendesignal erfüllt. Wie sieht dann im Frequenzbereich der Amplituden-/Phasengang nach Nachabtastung zu den Zeitpunkten kT_{Bit} aus? 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 16
--	--	-----------

$$|A(\omega)| = 1$$

$$\varphi(\omega) = -\omega n T_{\text{Bit}} \quad n \in \mathbb{N}$$

- d) Die Nyquistbedingung kann durch Sendesignale mit cosinusförmigen Flankenverlauf (raised-cosine) eingehalten werden. Wie ist der Roll-Off-Faktor r hierbei definiert? Skizze und Formel für r sind verlangt. 1 P



$$r = \frac{\Delta\omega}{\omega_T}$$

- e) Die Nyquistbedingung ist aufgrund eines nichtidealen Kanals mit der Übertragungsfunktion $H_{\text{Kanal}}(j\omega)$ nicht mehr einzuhalten. Mit welchem zuzuschaltenden System kann der Nyquistbedingung wieder Gültigkeit verschafft werden? Welche Gesamtübertragungsfunktion (Amplituden-/Phasengang) aller Systeme ergibt sich dann? 1 P

Es wird ein Entzerrer benötigt, so dass sich

$$H_{\text{gesamt}}(j\omega) = S(j\omega)H_{\text{Kanal}}(j\omega)H_{\text{Entzerrer}}(j\omega)$$

ergibt. Amplituden-/Phasengang der Gesamtübertragungsfunktion müssen wie in Aufgabe c) beschaffen sein. Daher muss idealerweise gelten

$$H_{\text{Entzerrer}}(j\omega) = \frac{1}{H_{\text{Kanal}}(j\omega)},$$

um die Nyquistbedingung wieder herzustellen.

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 17</p>
---	---	------------------

- 4.3 Über einen Telefonkanal mit der nutzbaren Bandbreite $B = 2,4 \text{ kHz}$ soll mittels mehrwertiger Übertragung ein binäres Datensignal mit einer Bitrate von $R_B = 4800 \text{ Bit/s}$ übertragen werden. Der *roll-off*-Faktor der Sendeimpulse betrage 100%. Wie groß muss die Wertigkeit M der Sendesymbole sein? 1 P

Aus $B_{\text{Kan}} = \frac{R_{\text{Symb.}}}{2} \cdot (1+r) = \frac{R_{\text{Bit}}}{2m} \cdot (1+r)$ folgt $m = \frac{R_{\text{Bit}} \cdot (1+r)}{2 \cdot B_{\text{Kan}}}$ und damit $m = \frac{4800 \text{ Bit/s} \cdot (1+1)}{2 \cdot 2400 \text{ Hz}} = 2$. Es werden $M = 2^m = 4$ -wertige Symbole gebraucht.

- 4.4 **Binäre Modulation** 3 P

- a) Geben Sie die drei prinzipiellen binären Modulationsverfahren mit den zugehörigen modulierten Sendesignalen $s_m(t)$ an. 1,5 P

ASK:

$$s_m(t) = \begin{cases} 0 & \text{wenn } a(kT_{\text{Bit}}) = 0, \\ A_c \cdot \cos(\omega_c t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_{\text{Bit}}}} \cdot \cos(\omega_c t) & \text{wenn } a(kT_{\text{Bit}}) = 1 \end{cases}, \text{ für } 0 \leq t \leq T_{\text{Bit}}$$

FSK:

$$s_m(t) = \begin{cases} A_c \cdot \cos(\omega_0 t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_{\text{Bit}}}} \cdot \cos(\omega_0 t) & \text{wenn } a(kT_{\text{Bit}}) = 0, \\ A_c \cdot \cos(\omega_1 t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_{\text{Bit}}}} \cdot \cos(\omega_1 t) & \text{wenn } a(kT_{\text{Bit}}) = 1 \end{cases}, \text{ für } 0 \leq t \leq T_{\text{Bit}}$$

PSK:

$$s_m(t) = \begin{cases} A_c \cdot \cos(\omega_c t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_{\text{Bit}}}} \cdot \cos(\omega_c t) & \text{wenn } a(kT_{\text{Bit}}) = 0, \\ -A_c \cdot \cos(\omega_c t) = -\sqrt{\frac{2E_b}{T_{\text{Bit}}}} \cdot \cos(\omega_c t) & \text{wenn } a(kT_{\text{Bit}}) = 1 \end{cases}, \text{ für } 0 \leq t \leq T_{\text{Bit}}$$

- b) Welche maximale Kanalausnutzung ergibt sich für binäre Modulationsverfahren? 0,5 P

$$\max \left\{ \frac{R_{\text{Bit}}}{B_{\text{Kam}}} \right\} = 1 \text{ Bit pro Sekunde pro Hz}$$

- c) Warum ist die PSK der orthogonalen FSK bei gleichem Entscheider-SNR in Hinsicht auf die erzielbare Bitfehlerwahrscheinlichkeit überlegen? **Begründen** Sie ihre Antwort! 1 P

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 18
--	--	-----------

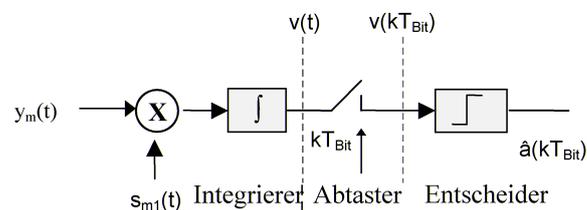
Für gleiches Kanal-SNR wäre die BER für PSK kleiner als die BER für die orthogonale FSK. Jedoch für gleiches Entscheider-SNR ergibt sich auch eine gleiche Bitfehlerwahrscheinlichkeit, da diese direkt vom Entscheider-SNR abhängt. Für vorgegebene Korrelationskoeffizienten $\rho_{\text{PSK}} = -1$ und $\rho_{\text{FSK}} = 0$ sowie konstantem Wert für $N_0/2$ (gleiche Rauschleistungsdichte auf dem Kanal) verbleibt nur noch die Bitenergie, die sich für PSK und FSK unterscheiden kann.

$$\begin{aligned} \text{SNR}_{E,\text{PSK}} &= \text{SNR}_{E,\text{FSK}} \\ \frac{4E_{b,\text{PSK}}}{N_0}(1 - \rho_{\text{PSK}}) &= \frac{4E_{b,\text{FSK}}}{N_0}(1 - \rho_{\text{FSK}}) \\ \frac{8E_{b,\text{PSK}}}{N_0} &= \frac{4E_{b,\text{FSK}}}{N_0} \\ 8E_{b,\text{PSK}} &= 4E_{b,\text{FSK}} \\ E_{b,\text{PSK}} &= \frac{1}{2}E_{b,\text{FSK}} \end{aligned}$$

Die PSK braucht bei gleichem Entscheider-SNR/BER Sendesignale mit nur halb soviel Bitenergie wie die orthogonale FSK.

- d) Muss für den binären Empfänger immer erst das modulierte Signal demoduliert werden oder gibt es Möglichkeiten, das binäre Signal ohne explizite Demodulation zu empfangen. Wenn ja, **beschreiben** Sie kurz die Grundidee eines solchen Empfängers und **skizzieren** Sie ihn als Blockdiagramm. 1 P

Abb. 11.15 für Korrelationsempfänger für PSK, ebenso SAF denkbar, wichtig synchrone signalangepasste Filterung oder Multiplikation bei Korrelationsempfänger. Für modulierte Sendesignale für 0 und 1 werden zwei Zweige benötigt für kleinste BER.

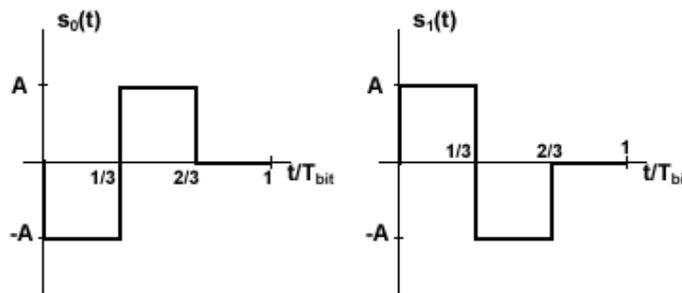


<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 19</p>
---	---	------------------

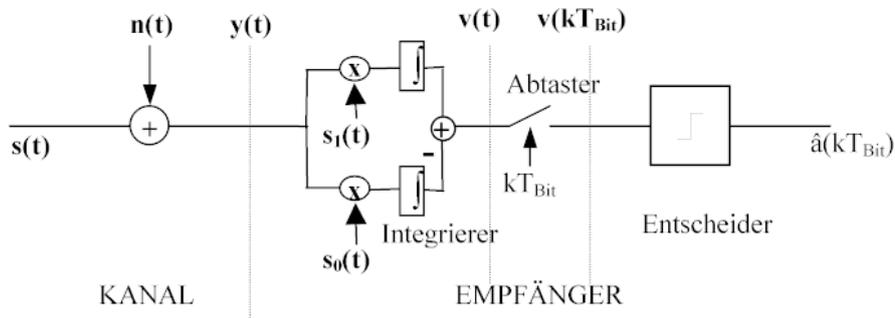
R Rechenübung: Binärübertragung

10 Punkte

- R.1 Durch Verwendung von Pulsformung und Korrelationsempfänger soll eine Binärübertragungsstrecke vor Übertragungsfehlern durch Kanalrauschen geschützt werden. Der Sender verwendet zur Pulsformung die Impulsantworten $s_0(t)$ für eine binäre '0' bzw. $s_1(t)$ für eine binäre '1'.



Der verwendete Korrelationsempfänger habe die folgende Struktur:

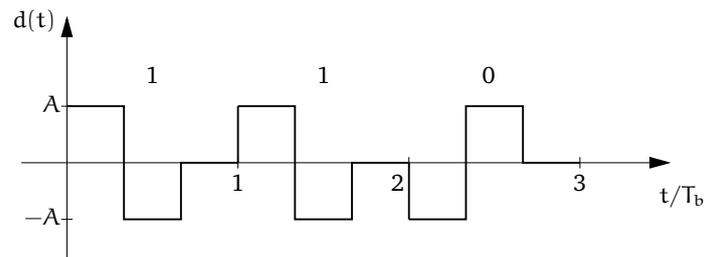


- a) Welche Signalisierung liegt vor und welche mathematische Beziehung haben hier die beiden Impulsantworten? 1 P

optimale Signalisierung, da $\rho_{01} = \frac{1}{E_{\text{bit}}} \int_{-\infty}^{\infty} s_0(t) \cdot s_1(t) dt = -1$

- b) Skizzieren Sie das durch Senden der binären Werte '110' nach der Pulsformung entstehende Signal! 1 P

<p>Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 20</p>
---	---	------------------



- c) Berechnen Sie $v(kT_{\text{bit}})$ für $k = 1, 2, 3$ für die gegebenen binären Werte und unter der Annahme, dass kein Rauschen auf dem Kanal hinzukommt ($n(t) = 0$)! Geben Sie die maximale Amplitudendifferenz von $v(kT_{\text{bit}})$ an! 3 P
- Hinweis: Integrierer werden nach jedem Abtastzeitpunkt T_{bit} auf Null gesetzt.

$$v(T_{\text{bit}}) = \int_0^{\frac{2}{3}T_{\text{bit}}} A^2 dt - \int_0^{\frac{2}{3}T_{\text{bit}}} -A^2 dt = \frac{4}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

$$v(2T_{\text{bit}}) = \int_{T_{\text{bit}}}^{\frac{5}{3}T_{\text{bit}}} A^2 dt - \int_{T_{\text{bit}}}^{\frac{5}{3}T_{\text{bit}}} -A^2 dt = \frac{4}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

$$v(3T_{\text{bit}}) = \int_{2T_{\text{bit}}}^{\frac{8}{3}T_{\text{bit}}} -A^2 dt - \int_{2T_{\text{bit}}}^{\frac{8}{3}T_{\text{bit}}} A^2 dt = -\frac{4}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

$$\max[\Delta v] = \frac{8}{3}A^2T_{\text{bit}}$$

<p>Technische Universität Berlin</p> <p>Fachgebiet Nachrichtenübertragung</p> <p>Prof. Dr.-Ing. T. Sikora</p>	<p>Klausur Einführung in die</p> <p>Nachrichtenübertragung</p> <p>am 19.07.2010</p>	<p>Blatt: 21</p>
---	---	------------------

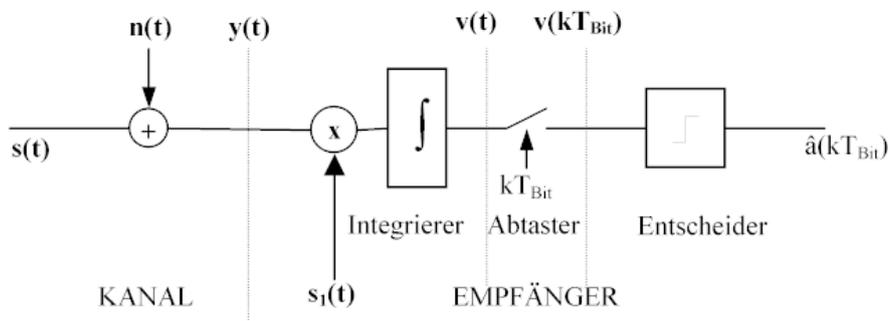
- d) Die Amplitude A betrage 250 mV, T_{bit} sei 3 ms und die Rauschleistungsdichte über der Kanalbandbreite sei konstant mit $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2/\text{s}$. Bestimmen Sie den Entscheider-SNR. 1 P

Hinweis: $\text{SNR}_E = \frac{4E_{\text{bit}}}{N_0} (1 - \rho_{01})$

$$E_{\text{bit}} = \int_0^{T_{\text{bit}}} |s(t)|^2 dt = \frac{2}{3} A^2 T_{\text{bit}}$$

$$\Rightarrow \text{SNR}_E = \frac{4 \cdot \frac{2}{3} A^2 T_{\text{bit}}}{N_0} \cdot (1 + 1) = \frac{8 \cdot A^2 T_{\text{bit}}}{3 \cdot \frac{N_0}{2}} = 200$$

R.2 Mit den Sendeimpulsen aus der vorherigen Aufgabe und der vereinfachten Struktur des Korrelationsempfängers 4 P



- a) Wie groß ist die maximale Amplitudendifferenz von $v(kT_{\text{bit}})$ bezogen auf die Amplitudendifferenz aus Aufgabe R.1c bei gleicher binärer Sendefolge '110' und $n(t) = 0$. Begründen Sie Ihre Antwort! 1 P

Hinweis: Eine Rechnung ist nicht unbedingt notwendig.

Die Amplitudendifferenz ist nur halb so groß wie in Aufgabe R.1 c, da bei dem Korrelationsempfänger aus R.1 die einzelnen Beträge der Integriererausgänge gleich sind und sich addieren.

- b) Die Amplitude A betrage 250 mV, T_{bit} sei 3 ms und die Rauschleistungsdichte über der Kanalbandbreite sei konstant mit $N_0/2 = 25 \cdot 10^{-7} \text{V}^2/\text{s}$. Wie groß ist das Entscheider-SNR bezogen auf das Entscheider-SNR aus Aufgabe R.1 d? Begründen Sie Ihre Antwort und Ihr Ergebnis! 1 P

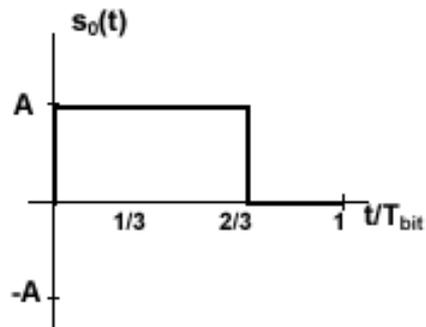
Die beiden Entscheider-SNRs sind gleich groß, obwohl die Amplitudendifferenz nur halb so groß ist, da sich das Rauschen im oberen und unteren Zweig beim Korrelationsempfänger aus R.1 ebenfalls addieren.

Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 22
--	--	-----------

- c) Additives Rauschen auf dem Kanal, welches gaußverteilt und mittelwertfrei ist, lässt sich mit einem Korrelationsempfänger reduzieren. Warum? Begründen Sie! 1 P

Mittelwertfreies Rauschen wird durch den Integrierer reduziert.

- d) Zeichnen Sie eine orthogonale Funktion zu $s_1(t)$! 1 P



Technische Universität Berlin Fachgebiet Nachrichtenübertragung Prof. Dr.-Ing. T. Sikora	Klausur Einführung in die Nachrichtenübertragung am 19.07.2010	Blatt: 23
--	--	-----------