

Praktikum Kommunikationstechnik

Pulscodemodulation: Grundlagen PCM-1

1. Versuchsziel

- Kennenlernen des Aufbaus und der Wirkungsweise von PCM-Systemen.
- Kennenlernen der Quantisierung mit unterschiedlichen Komprimierungskennlinien.
- Erkennen der Einflüsse der Quantisierungsverzerrung bei unterschiedlicher Quantisierung.

2. Grundlagen

2.1 Allgemein

Grundlage für die zeitgeteilte Übertragung ist das Abtasttheorem von *Shannon*. Dieses lautet in Kurzfassung:

"Ein Signal mit einem Spektrum, das oberhalb einer Frequenz f_{go} verschwindet, ist vollständig durch Probenwerte im Abstand

$$T_a < \frac{1}{2 \cdot f_{go}}$$

beschrieben."

Für eine einzelne Schwingung bedeutet das:

"Eine Schwingung ist in ihrer ursprünglichen Form reproduzierbar, wenn zwischen zwei Nulldurchgängen mindestens ein Amplitudenwert bekannt ist."

Abgeleitet daraus ergibt sich die Möglichkeit, Sprache oder andere analoge Informationen durch Impulse zu übertragen, die den Amplitudenwerten an den Abtastzeitpunkten $n \cdot T_s$ entsprechen. Zu beachten ist dabei lediglich die sich aus dem Abtasttheorem an die Abtastfrequenz f_a ergebende Forderung:

$$\frac{1}{T_a} = f_a > 2 \cdot f_{go}$$

Die Abtastfrequenz muss größer als die doppelte obere Grenzfrequenz der zu übertragenden Information sein.

Für das Sprachfrequenzband mit der Begrenzung $B_{Sp} = 0.3 \dots 3.4$ kHz folgt daraus:

$$f_a > 6,8 \text{ kHz, gewählt: } f_a = 8 \text{ kHz}$$

und davon abgeleitet die für eine Taktperiode benötigte Zeit:

$$T_a = \frac{1}{f_a} = 125 \mu\text{s}$$

d.h. alle $125 \mu\text{s}$ ist ein Amplitudenwert des Sprachsignals vorhanden und wird in Form sehr kurzer Impulse übertragen. Für die Übertragung dieser Information werden die abgetasteten Amplitudenwerte durch Quantisierung und Codierung in ein entsprechendes Codewort umgewandelt. Eine 8-Bit-Auflösung hat sich bei der Quantisierung für die Telefonie als ausreichend erwiesen, um eine gute Sprachqualität zu gewährleisten. Mit einem solchen 8-Bit-Symbol können:

$$n = 2^8 = 256,$$

Amplitudenstufen unterschieden werden.

Hinweis:

Bei der PCM-Übertragung werden 2^7 Werte + Vorzeichenbit (256 Stufen) übertragen.

Für die Breitbandübertragung z.B. von Musik oder Fernsehbildern werden allerdings weit mehr Amplitudenstufen und damit längere Codeworte benötigt.

Aus der oben errechneten Abtastfrequenz und dem benötigten Codewort ergibt sich die für die Telekommunikation zugrundeliegende Übertragungsrate von

$$64 \text{ KBit/s (8 kHz * 8 Bit)}$$

(daher kommt auch die Bezeichnung „64 kBit-Kanal“). Für jedes Bit der Übertragung eines solchen Kanals stehen somit $15.6 \mu\text{s}$ zur Verfügung. Da die zu übertragenden Impulse wesentlich kürzer sein können, werden zeitlich nacheinander mehrere Kanäle übertragen. Dabei werden **alle $125 \mu\text{s}$** die codierten Abtastwerte des **gleichen** Kanals gesendet. Diese Übertragungsart nennt man *Zeitmultiplex*.

2.2 Analog-/Digitalwandlung

Die Umwandlung des analogen in das digitale Signal erfolgt in zwei Schritten:

1. Abtastung und Quantisierung,
2. Codierung des Amplitudenwertes.

Im Ergebnis der mit der Frequenz von 8 kHz erfolgten Abtastung entsteht ein PAM-Signal (PAM= Pulsamplitudenmodulation), d.h. eine Impulsfolge mit der Frequenz 8 kHz, deren Pulsamplitude dem jeweiligen Abtastwert entspricht.

Zur Quantisierung wird der Spannungsbereich $+U_{\max} \dots -U_{\max}$ in insgesamt 256 Amplitudenstufen unterteilt. Dabei wird dem tatsächlichen Spannungswert (u_{abt}) der Nominalwert der jeweiligen Amplitudenstufe (u_{amp}) zugeordnet, der bei der Wiedergabe dem *Mittelwert der Amplitudenstufe* entspricht (Abb. 1).

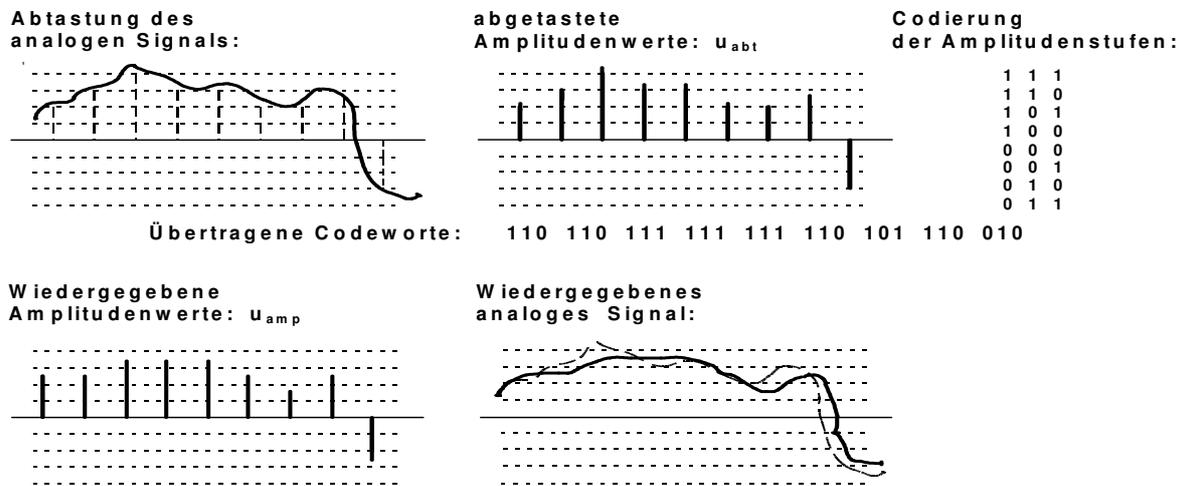


Abb. 1 Abtastung und Codierung (Wortlänge $m=3$)

Überschreitet die Spannung des abzutastenden Signals die vorgegebene U_{\max} , so wird durch die Empfangseinrichtung nur der Nominalwert der höchsten Amplitudenstufe ausgegeben (Abb. 1), die Grenze des Aussteuerbereiches ist erreicht und es tritt eine Begrenzerwirkung ein, d.h. es kommt zu einem Anstieg der Betriebsdämpfung

$$a_{\text{Betr}} = 20 \cdot \lg \frac{u_1}{u_2}$$

mit $u_1 =$ zu sendendes Signal und $u_2 =$ wiedergegebenes Signal.

Durch die endliche Anzahl der Amplitudenstufen kommt es bei der PCM-Übertragung zu geringfügigen, nicht korrigierbaren Abweichungen der wiedergegebenen Spannungswerte von den Eingangswerten, die maximal die Hälfte der entsprechenden Quantisierungsstufe Δq erreichen können (Abb. 2). Diese Abweichung wird als *Quantisierungsfehler* (u_f) bezeichnet:

$$u_f \leq \frac{\Delta q}{2}$$

Ihr Einfluss auf die Übertragungsqualität kann durch das Verhältnis.

$$\frac{u_f}{u_{\text{abt}}} \quad \text{beschrieben werden.}$$

Es folgt: *Je kleiner die abgetastete Spannung ist, desto größer ist dieser Einfluss.*

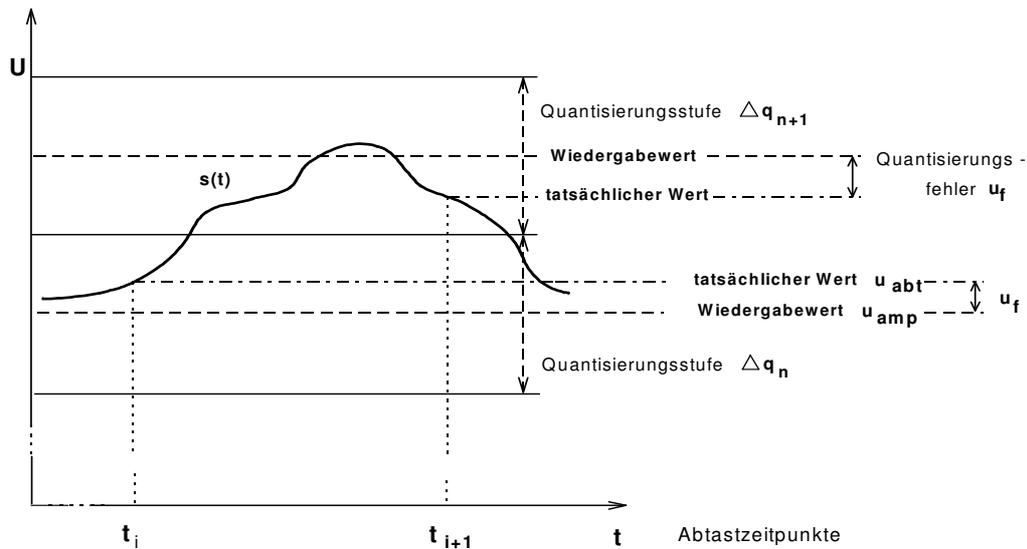


Abb. 2 Quantisierungsfehler

Da es sich hierbei um systemimmanente und nichtlineare Verzerrungen des Ausgangssignales handelt, wird diese Verzerrung als *Quantisierungsrauschen* bzw. *Quantisierungsgeräusch* bezeichnet. Um dieses so gering als möglich zu halten, ist man bei der Entwicklung der PCM-Geräte von der *linearen* zur *nichtlinearen* Quantisierung übergegangen, d.h. die Breite der Amplitudenstufen nimmt mit kleiner werdenden Abtastwerten ab. Dadurch verringern sich u_f und u_{abt} annähernd gleichmäßig. Diesen Vorgang bezeichnet man auch als *Kompandierung*, die dazu verwendete Kennlinie folgt dem sogenannten *A-Gesetz*.

In der Praxis erfolgt die Quantisierung in den PCM-Geräten nach der diesem Gesetz genäherten *13-Segment-Kennlinie* (Abb.3).

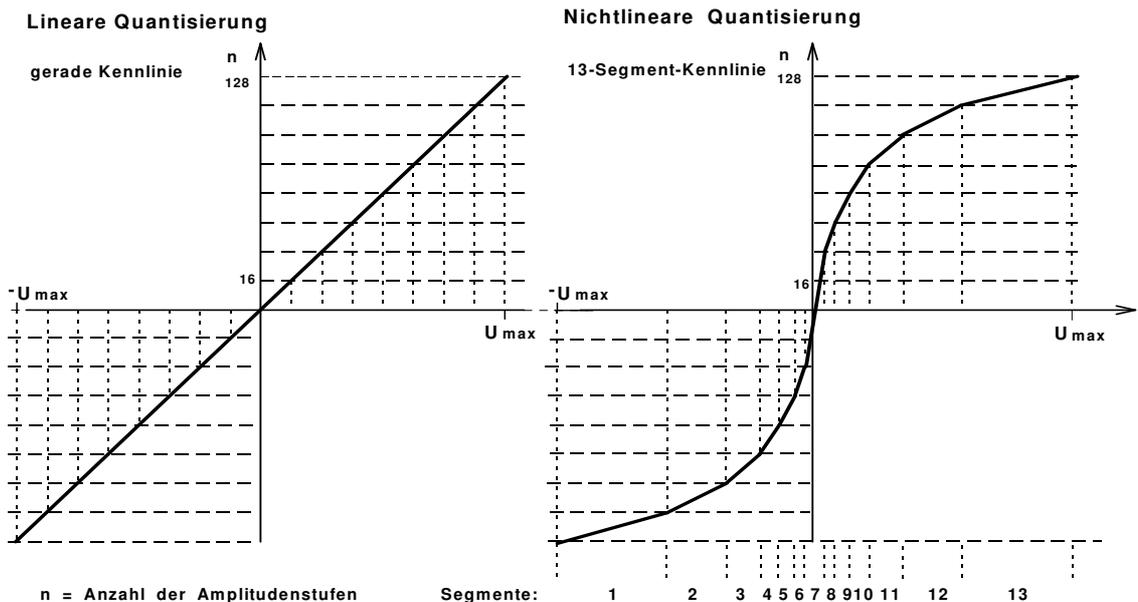


Abb.3 Lineare und nichtlineare Quantisierung

Jeder Amplitudenwert wird also in ein 8-Bit-Wort umgewandelt, wobei den einzelnen Bits folgende Bedeutung zugeordnet werden kann:

1. Bit	Polarität: + = 1, - = 0,
2.-4. Bit:	Grobstufen : Liniensegment (0 - 7)
	0 0 0 = 0 - $u_{\max}/128$,
	0 0 1 = $u_{\max}/128$ - $u_{\max}/64$,
	0 1 0 = $u_{\max}/64$ - $u_{\max}/32$,
	0 1 1 = $u_{\max}/32$ - $u_{\max}/16$,
	1 0 0 = $u_{\max}/16$ - $u_{\max}/8$,
	1 0 1 = $u_{\max}/8$ - $u_{\max}/4$,
	1 1 0 = $u_{\max}/4$ - $u_{\max}/2$,
	1 1 1 = $u_{\max}/2$ - u_{\max} ;
5.-8. Bit:	Stufen 0 -15 innerhalb des Segments: linear quantisiert.

Bei einer Austeuergrenze von $U_{\max} = 1V$ würden z.B. die folgenden Zuordnungen möglich sein:

Codewort: 1 0 1 0 1 1 0 1 $U_{\max} \left(\frac{1}{64} + \frac{1}{64} \cdot \frac{13}{16} \right) = U_{\max} \frac{16+13}{64 \cdot 16} = \underline{\underline{0,0283V}}$

$-0,375V = -U_{\max} \left(0,25 + 0,25 \cdot \frac{x}{16} \right) \rightarrow 0,125 = 0,25 \cdot \frac{x}{16} \quad x = \underline{\underline{8}}$ ergibt folgendes

\Rightarrow Codewort: 0 1 1 0 1 0 0 0

Den Wert *Null* gibt es bei der PCM-Übertragung demzufolge nicht, sondern bei einer Eingangsspannung $U_{\text{ein}} = 0$ wird weder 1 0 0 0 0 0 0 0 oder 0 0 0 0 0 0 0 0 übertragen und die Ausgabe durch den Demodulator schwankt jeweils zwischen dem positiven und dem negativen Mittelwert der kleinsten Amplitudenstufe. Diesen Effekt bezeichnet man auch als Leerkanalgeräusch, das allerdings vom Gehör nicht wahrnehmbar ist.

Die im Zeitraum zwischen zwei Abtastzeitpunkten des gleichen Kanals übertragene Bitfolge nennt man einen *Rahmen*. Für die Übertragung von Frequenzen in Telefonanlagen reicht ein Bereich von 200 Hz – 3600 Hz und hier beträgt die zeitliche Rahmenlänge demzufolge 125 μs (1/8000 sec Abtastfrequenz). Entsprechend der Anzahl der im System zusammengefassten NF-Kanäle erhöht sich die innerhalb eines Rahmens zu übertragende Bitzahl. Der Rahmen bei unserem PCM-Lehraufbau mit zwei NF-Kanälen und Synchronwort enthält 3 Kanälen zu je 8 Bit:

Synchronkanal NF-Kanal 1 NF-Kanal 2

Damit hat dieses System eine Übertragungsrate von $8000 \text{ s}^{-1} * 8 \text{ Bit} * 3 = 192 \text{ kBit/s}$. Dabei variiert die Anzahl der Bits innerhalb eines Übertragungsrahmens. Je nach Rahmenaufbau (Anzahl Rahmensynchronbits, Senden von einem oder mehreren 8 Bit – Abtastwert(en) eines Kanals) erhöht oder verringert sich der Rahmentakt.

Der Übertragungsrahmen des Codierer/Decodierer am Versuchsplatz enthält insgesamt 48 Bit. Darin sind neben den Rahmensynchronbits, vier zu übertragenden Datenbytes, Steuerungs- sowie DC-Ausgleichbits enthalten. Die Frequenz der Rahmensynchronbits beträgt damit 4kHz.

In der Praxis wird die Übertragung der Codeworte mit unterschiedlichen Leitungscodes vorgenommen. Man unterscheidet dabei zwischen dem **AMI-** (alternate mark inversion) und dem **HDB3-** (high density bipolar of order 3) Code. Der AMI – Code ist ein pseudoternärer Code, indem die Binärwerte 1 abwechselnd durch Impulse mit positiver und negativer Spannung und der Binärwert 0 durch den Spannungswert null dargestellt werden.

Der HDB3 Code ist eine Modifizierung des AMI- Codes und erzeugt eine weitgehend gleichspannungsfreie Leitungsübertragung als Voraussetzung für eine korrekte Taktrückgewinnung auf der Empfängerseite eines PCM- Systems. In der Abb. 5 kann man die Unterschiede in der Leitungscodierung sehen.

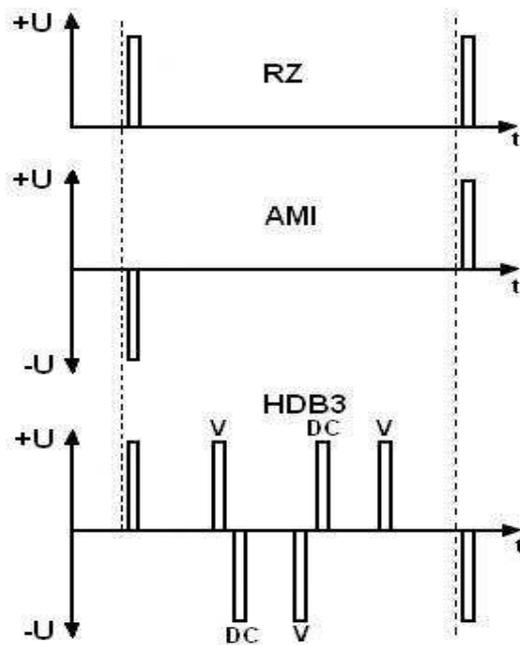


Abb. 4 Codierungsarten

Vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass nach drei zu übertragenden Nullen eine zusätzliche Eins eingefügt wird. Dieses im Bild mit „V“ gekennzeichnete Bit verletzt die Bildungsregel des AMI – Codes, da es die gleiche Polarität wie die vorangegangene Eins hat. Üblicherweise spricht man aus diesem Grund auch vom Verletzungsbit.

Um die Übertragung möglichst gleichspannungsfrei zu halten, wird noch ein sogenanntes Ausgleichsbit (DC) mit der entgegengesetzten Polarität hinzugefügt. Die gleichspannungsfreie Übertragung vereinfacht die Taktrückgewinnung und korrekte Zuordnung der Informationen aus dem seriellen Bitstrom auf der Empfängerseite.

3. Vorbereitungsaufgaben

- (1) Welche Erkenntnis (bezogen auf die Abtastrate) bildet die Grundlage für die digitale Übertragung der menschlichen Sprache?
- (2) Welche Abtastfrequenz wäre mindestens notwendig, um die digitale Übertragung einer Musiksendung mit einer Bandbreite von 30...15000 Hz zu gewährleisten?
- (3) Welche technischen Voraussetzung muss dabei in (2) erfüllt sein, damit die Abtastfrequenz die originalgetreue Rekonstruktion eines Signalgemisches mit den darin enthaltenen Frequenzen von 30...15000 Hz realisierbar ist?
- (4) Wie viele Amplitudenstufen können mit einem 6-, 8- bzw. 12-Bit-Kodewort übertragen werden?
- (5) Was ist und wie entsteht das Quantisierungsrauschen und mit welchen Mitteln kann man es verringern?
- (6) Berechnen Sie das Verhältnis u_i/u_{abt} für die Abtastwerte der Spannung $u_{ein} = u_{max}$ und $u_{ein} = u_{max}/128$ der positiven Halbwelle bei linearer und nichtlinearer Quantisierung und geben Sie die errechneten Werte linear und in dB an!
(für die nichtlineare Quantisierung ist die 13-Segment-Kennlinie anzunehmen).
- (7) Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus den errechneten Werten ziehen?
- (8) Warum muss eine Leitungscodierung während der Übertragung erfolgen und welchen Vorteil hat der HDB3 – Code im Gegensatz zum reinen AMI – Code?

4. Versuchsdurchführung

4.1 Funktionsprüfungen der PCM-Baugruppen

4.1.1 Grundeinstellungen am Oszilloskop (je nach Aufgabenstellung)

- Mode: Einkanalbetrieb (CH1) bzw. Mehrkanalbetrieb,
- Trigger: CHx ($1 \leq x \leq 4$), Triggerpegel im Verlauf der Messung nachregeln,
- Spannungsregler und Zeitbasis: Modifizieren der Vorgaben nötig,
- Verbindungen: Schalter und Feinregler je nach Aufgabe,
CLOCK, SYNC PCMout → gleiche Anschlüsse Leitungscodierer,
PCMout vom Modulator → PCMin des Demodulators nicht trennen.

4.1.2 Messungen an der PCM-Modulatorkarte

Messergebnisse für das Protokoll aufschreiben, wenn angegeben - Oszillogramme in PC übertragen! Welche Bilder mit den dazu gehörigen Einstellungen genutzt werden, kann **selbst** entschieden oder vom Arbeitsblatt entnommen werden. Die Messanordnung ist entsprechend anzupassen!

a) Prüfen der Generatoren des PCM-Modulators:

- Oszi-Einstellungen: - Einkanal: Y_A ,
- Trigger: CH1,
- Zeitbasis: $200 \mu\text{s}/T$,
- Spannung: $0.5 \text{ V}/T$, AC;
- Messen: - 1 kHz (NF-Generatoren),
- 0.5 kHz
- Oszi-Einstellungen: - Zeitbasis: $1 \mu\text{s}/T$,
- Spannung: $2 \text{ V}/T$, DC;
- Messen: - CLCK (Taktgenerator),
- Oszi-Einstellungen: - Zeitbasis: $20 - 50 \mu\text{s}/T$,
- Spannung: $2 \text{ V}/T$, DC;
- Trigger: CH1, ac, Tr.- Position Delay = - 0.5dV
- Messen: - SYNC (Synchronkontakte oder Zeitrahmen)
- FRAME (Rahmentakt)

b) Messen der Abtastung und PAM-Signal 1. u. 2. Kanal:

Bei jeder Messung: Kanalverstärkungsregler nach rechts und links bewegen und Min.- bzw. Max.-Werte notieren.

- Oszi-Einstellungen: - Mehrkanal: Y_A, Y_B, Y_C , Trigger Y_A (CH1)
- Zeitbasis: $200 \mu\text{s}/T$,
- Spannung: $2 \text{ V}/T$, AC;

- Verbinden:
 - NF1 → 1 KHz,
 - NF2 → AGND oder nach Bedarf mit 1KHz (500Hz);
- Einstellen
 - Verstärkungsregler auf Links (min)- und Rechts (max) – Anschlag und Amplituden an U 1.1, U2.1 und PAM mit Oszillografen messen.
- Messen (FlukeView)
 - NF-Signal: U 1.1, → CH1
 - Abtast- u. Haltesignal: U 1.2, → CH2
 - PAM-Signal: PAM, → CH3

Mit der Software FlukeView /Instrument/ Waveform.in den PC übertragen!

- Verbinden
 - NF2 → 0.5 KHz
 - U 2.1 → CH2 (anstatt Verbindung U 1.2)
- Einstellen
 - Trigger auf NF-Kanal mit den 500 Hz, Deaktivieren aller Kanäle außer dem PAM – Signal. Verstärkungsregler auf Links(min)- und Rechts(max) – Anschlag und Amplituden am Oszillografen beobachten. Anschließend die NF – Kanäle so auf die Kurve des PAM- Signals, dass man Abtastpunkt, Amplitudenpuls des jeweiligen Kanals zuordnen kann.
- Messen
 - PAM → CH3

Übertragen der Kanäle NF1, NF2 und PAM in den PC

4.1.3. Messen des Ausgangssignal bei unterschiedlicher Kennlinie

Alle Regler am PCM-Modulator auf Rechtsanschlag (volle Verstärkung),

- Verbinden:
 - NF1 → R-Dekade, NF2 → AGND (s. Abb5, S.12)
 - Stecker auf Kanal 1, (s. Bed.-Anltg.)
 - PCMout Modulator → PCMin Codierer
 - Codierungsschalter → AMI
 - CH1 → AMIout (Codierer)
 - CH2 → PCMout (Modulator)
 - CH3 → FRAME (Codierer)
- Einstellen:
 - Eingangsspannung > 1,2 V (alle LEDs leuchten)
 - Oszi-Einstellungen: - Zeitbasis: 20 μ s/T,
 - Trigger: CH3, Spannung: 2 V/T, DC,
 - Cursors im Untermenü Readout → 1/ Δ T,
 - *Jumper* für LED-Anzeige von Kanal 1 stecken,
 - Kennlinie 8 Bit linear (ohne Jumper)
 - CH1 und CH3 vom Oszi deaktivieren,

- Messen: - mit dem Oszillographen die Zeit eines Zeitschlitzes (Kanal) messen,
- Einstellen: - PCM out an CH2, Zeitbasis grob und fein so einregeln, dass die Bitfolge des Kanals deutlich zu erkennen ist. Selbst gewähltes Bitmuster auf Arbeitsblatt notieren,
- Messen: - LEDs mit PCM_{Out} vergleichen,
- Einstellen: - Die 13-Segment-Kennlinie nichtlinear wählen (Jumper auf 1 stecken, ohne Änderung der Spannung), Reaktion der Bildschirmanzeige und der LED beobachten, wieder das Bitmuster notieren.
- Messen: - LEDs mit PCM_{Out} vergleichen,
- Verbinden: - NF1 → R-Dekade, NF2 → AGND,
- Stecker auf Kanal 1, lineare Kennlinie,
- Schalter für Codierung auf AMI,
- CH1 → AMIout, CH2 → PCMout (Modulator),
- CH3 → FRAME,
- CH2 und CH3 deaktivieren,
- Einstellen: - Eingangsspannung an NF1 auf etwa + 45 mV (alle LEDs aus) verringern,
NF2 → AGND, CH1 aktiv,
- Mittels des Einstellreglers und gegebenenfalls der Dekade die Eingangsspannung erhöhen, bis zum Zuschalten der LED des niederwertigsten Bits, positive Spannung (Vorzeichen- LED leuchtet),
- Spannung weiter erhöhen, bis Bit2 leuchtet,
- Messen: - Beobachten Sie die Reaktionen des Senderahmens während der Bitwechsel, die durch Änderung der Eingangsspannung erreicht werden können,
- Schalter für Codierung auf HDB3,
- Übernehmen Sie die Rahmen sowohl für die HDB3 Codierung am Signal AMIout in den PC und Kennzeichnen Sie die „V“- Bits der Codierung,
- Entfernen der Verbindung Dekade →NF1.

4.1.4. Auswertung

- Welche Auswirkungen hat die Abtastfrequenz auf die unterschiedlichen Eingangssignale?
- Kennzeichnen Sie in dem unter 4.1.2. b) übertragenen Bild, die zu den jeweiligen Pulsen des PAM- Signals passenden Abtastpunkte in den Signalverläufen der NF-Kanäle!
- Welche Datenübertragungsrate in Bit/s (Berechnungsformel) hat das Lehr – PCM – System, wenn neben den Zeitschlitzten (Kanälen) für die NF- Eingänge noch ein 3. Zeitschlitz für Synchronaufgaben zur Verfügung gestellt werden muss?
- Warum muss der Rahmentakt am Versuchsplatz ≥ 4 kHz sein?
- Woran kann man unter Punkt 4.1.3. den Aufbau des Senderrahmens erkennen?

4.2. Messungen an der PCM-Demodulorkarte

Messergebnisse für das Protokoll aufschreiben, vergleichen Sie als Auswertung die Messergebnisse und Bilder mit den Ergebnissen der PCM-Modulorkarte.

Übernehmen Sie eine Vergleichskurve vom Ux.2- mit dem HOLDx- Signal in den PC.

Bei jeder Messung:

Verstärkungsregler für den Kanal am PCM-Modulator nach rechts und links bewegen, Reaktionen beobachten, Werte im Arbeitsblatt notieren. Anschließend die Codierungsarten auf der betreffenden Baugruppe Umschaltung und ebenfalls die Reaktion des Systems am Ausgang AMIout am Oszi beobachten!

- Oszi-Einstellungen: - Mehrkanal,
 - Trigger: CH1, ac,
 - Zeitbasis: 0.5 ms/T,
 - Spannung: 2 V/T, AC;
- Verbinden:

PCM-Modulator:	PCM-Demodulator:
- CLCK - →	- CLOCK,
- SYNC - →	- SYNC,
- PCM out - →	- PCM in,

PCM-Modulator:	PCM-Demodulator:
- PCM out - →	- PCM in vom Coder/Decoder
- an beiden Karten: - lineare Kompanidierung (kein Stecker gesteckt),
 - Kanalanzeige: ein Kanal (Stecker auf 1 oder 2);

Vergleichen Sie die LED - Reihen vom Modulator- und Demodulator auf dem Oszillografen und bewerten Sie das Ergebnis! Ändern Sie dabei den oder die Verstärkungsregler auf der Modulatorkarte. Oszillografen am Demodulator anschließen!

- Verbinden: PCM-Modulator:
 - NF1 oder NF2 → 0.5 kHz oder 1 kHz,
 - NF2 oder NF1 → AGND,

- Messen: - NF1 – Eingang: U1.1. oder U2.1. CH1
 - HOLD-Signal: U1.2. oder U2.2. CH2
 - S&H-Signal: HOLDx (z.B. x = 1) CH3
 - NF - Signal NF1 (NF2) Demod. CH4

Vergleichen Sie das Abtast- mit dem S&H – signal von Modulator und Demodulatorkarte. Messen Sie den Laufzeitunterschied zwischen HOLDx und NFx auf der Demodulatorkarte (der Wert von x richtet sich nach dem gewählten Kanal 1 oder 2).

- Auswertung: - Laufzeit – Unterschied S&H und zu NF1- oder NF2- Ausgang am Demodulator messen, Ursache erläutern.
- Vergleich – Signale Sender/Empfänger (Hold, S&H, NF), woran kann man die Abtastung am Sender und die Rekonstruktion am Empfänger erkennen?

4.3 Aufnahmen der Quantisierungskennlinien

Im Folgenden sollen die Quantisierungskennlinien bei linearer und bei nichtlinearer Quantisierung aufgenommen werden. Dazu ist erforderlich, dass der entsprechende NF-Eingang des PCM-Modulators mit einer fein regelbaren Gleichspannung betrieben wird. Unter Verwendung der Funktion „pcmk“ unter MATLAB erfolgt die Weiterverarbeitung der gemessenen Werte. Schaltung nach Skizze (Abb. 5) aufbauen.

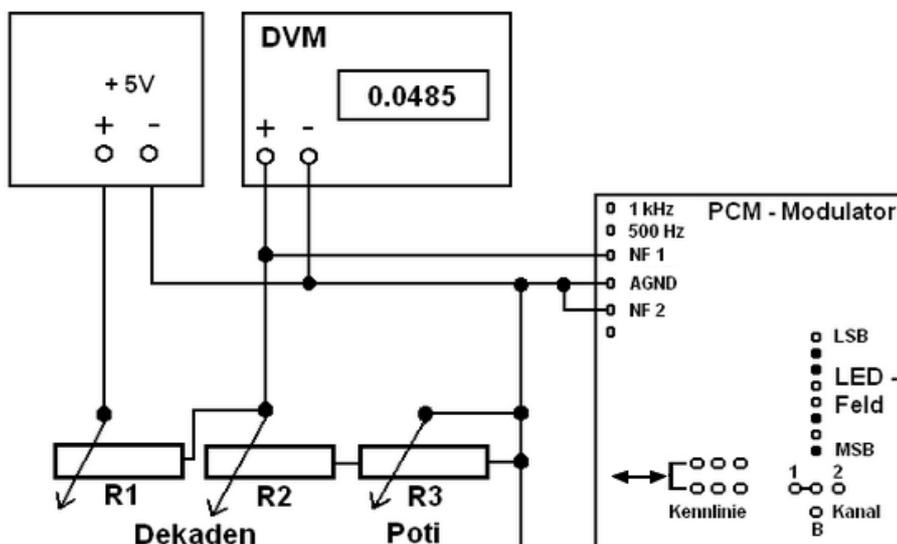


Abb. 5: Versuchsaufbau zur Aufgabe 4.3.

Einstellungen: - Gleichstromquelle:	Bereich:	1 - 15 V,
	Spannung:	5 V,
- Dekadenwiderstände:	R ₁ :	20 kΩ,
	R ₂ :	100 Ω,
- Digitalvoltmeter:	Start:	Auto,
	Messung:	mV, DC;
- PCM-Modulator:	Kanalanzeige	1,
	Kennlinie	linear;
	Regler Verst.	1 max.

Gleichstromquelle einschalten und mit dem Drehwiderstand R₃ den exakten Nullpunkt (Umschalten des Polaritätsbits, d.h. unterste LED am PCM-Modulator leuchtet gerade noch, dies entspricht dem MSB in der 8-Bit Anzeige) einstellen. Spannung am Digitalvoltmeter ablesen und in die Anlage 1 eintragen.

Im Folgenden werden die Grenzwerte der Grobstufen bzw. Segmente im positiven Bereich ermittelt. Durch verändern des Widerstandsverhältnisses an den Dekadenwiderständen die Spannung langsam erhöhen, bis die Umschaltung der Anzeige erfolgt. Spannungswert ablesen und aufschreiben. Anschließend den Vorgang mit den anderen Bereichen (Bit 5...7 der Anzeige) solange fortsetzen, bis das Ende der Aussteuerung erreicht ist, d.h. alle LED rot leuchten.

Dabei ist zu beachten, dass der 9. Messwert an der Stelle ermittelt wird, an der die LED für das LSB eingeschaltet wird (es müssen insgesamt 9 Messwerte vorhanden sein). Der 9. Messwert wird zur Auswertung benötigt.

Ausgangswerte wieder herstellen und am PCM-Modulator auf nichtlineare Kennlinie (Buchsen 1 mit Jumper verbinden) umschalten. Messvorgang wiederholen.

Entfernen Sie unbedingt vor Anschluss des Generators GF22 die Verbindung von R1 zu + 5V.

Auswertung:

- Übernehmen Sie die unterschiedlichen Kennlinien in das Worddokument und beantworten Sie die Fragen im Arbeitsblatt.
- Warum wird in der Praxis das PCM- Ausgangssignal einer Leitungscodierung unterzogen und welchen Vorteil hat dabei die HDB3 – Codierung?

4.4 Qualitative Messungen der Quantisierungsverzerrungen

Bei den folgenden Messungen soll der Einfluss der Quantisierung auf die originalgetreue Wiedergabe der Eingangssignale untersucht und *qualitative* Aussagen dazu bei linearer und nichtlinearer Quantisierung getroffen werden.

Vor der Messung sind folgende Tätigkeiten vorzunehmen:

- Verstärker am PCM-Modulator auf minimale Verstärkung einstellen,
- Schaltung nach Skizze Abb. 6 aufbauen, NF-Generator GF22 oder
- HAMEG HM 8030-5 (Einstellungen hier digital) nutzen:

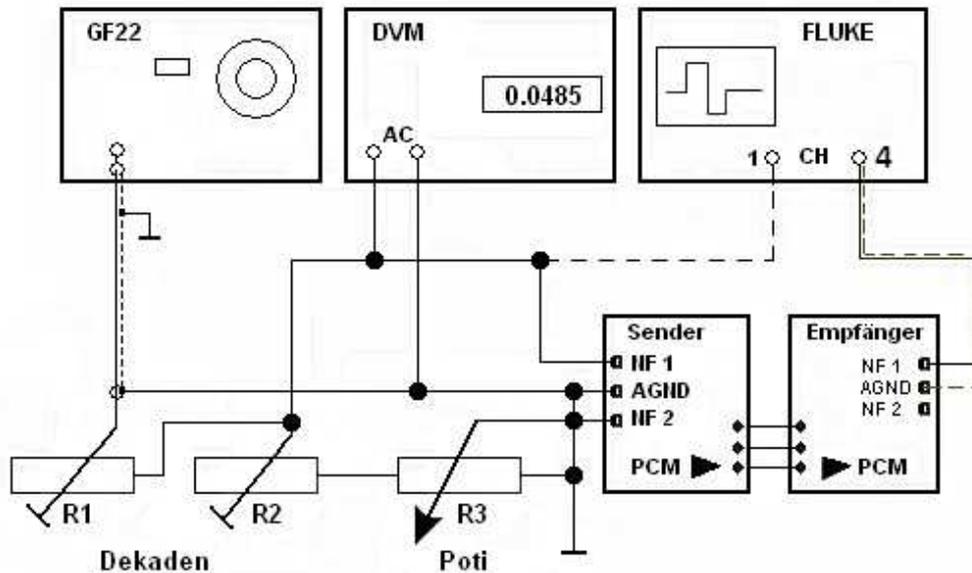


Abb. 6: Versuchsaufbau für die Aufgabe 4.4.

Einstellungen:

- | | | |
|--|--|---|
| - Generator GF 22:
(HM 8030-5) | Bereich:
Frequenz:
Spannung: | (.2...2) kHz,
80 (= 800 Hz),
7.0 V, |
| - Dekadenwiderstände: R ₁ : | R ₂ : | 1,5 kΩ,
100 Ω, |
| - Digitalvoltmeter: | Start:
Messung: | Auto,
mV, AC |
| - PCM-Modulator: | Kanalanzeige:
Kennlinie: | 1
linear, |
| - PCM-Demodulator: | Regler Verst. 1
Kanalanzeige:
Kennlinie: | max.,
1
linear, |
| - Oszillograph:
4021 C | Trigger:
Zeitbasis:
Spannung: | CH Ausgang Demod.,
200 μs/T,
CH 4 2V/T, AC, |

4.4.1 Untersuchung der Aussteuerungsgrenze des Codierers

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, stellen Sie bitte durch Verändern des Widerstandsverhältnisses des Spannungsteilers die Eingangsspannung auf 0,5 V ein und messen Sie die Eingangsspannung (AC). Zur Kontrolle kann man sich am Kanal 1 das aktuelle Eingangssignal anzeigen lassen.

Verbinden Sie den entsprechenden Ausgang NF1 auf dem Demodulator mit einem Kanal 4 des Oszillographen. Nun langsam die Eingangsspannung solange erhöhen, bis die Ausgangsspannung nicht mehr weiter steigt bzw. Verzerrungen derselben auftreten. Notieren Sie den Wert der Eingangsspannung und wiederholen Sie die Messung mit der anderen Quantisierungskennlinie!

Stellen Sie nun folgende Schalterstellungen neu ein:

Oszilloskop:	Spannung Ch 1	2 V/T (bei Bedarf)
	Spannung Ch 4	2 V/T
Dekadenwiderstand:	R_1	150 Ω

Regeln Sie nun den Verstärker für den Kanal NF-1 auf Minimum und Stellen Sie eine Eingangsspannung von 3,5 V ein! Führen Sie die gleichen Messungen noch einmal aus und notieren Sie auch hier die gemessenen Werte der Eingangsspannung!

Auswertung:

- Begründen Sie die Messergebnisse und vergleichen Sie die jeweilige U_{\max} der Kennlinien.
- Überlegen Sie sich den Zusammenhang der Werte für die Eingangsspannung mit dem zu erwartenden Begrenzungseinsatz bei unterschiedlicher Einstellung der Verstärkungsregler unter Zuhilfenahme der Ergebnisse von Punkt 4.1.1. b.

4.4.2. Quantisierungsverzerrung bei linearer und nichtlinearer Quantisierung

Drehen Sie die NF-Verstärker auf minimale Verstärkung zurück und regeln Sie bei einer Frequenz von 800 Hz die Eingangsspannung von NF1 auf 15 mV mittels der Kombination aus Widerstandsdekade und Feinregler ein!

Zur Kontrolle kann wieder das Eingangs- wie auch das Ausgangssignal an zwei Kanälen dargestellt werden.

- Einstellung:
 - $R_1 \approx 20 \text{ K}\Omega$, $R_2 \approx 100\Omega$
 - Oszi.: Zeitbasis auf 0.5 ms/T
 - CH1 und CH4 auf 0,1 V/T.

Übernehmen Sie die Oszillografenbilder bei **15mV** Eingangsspannung für **beide** Kennlinien ins Worddokument.

Führen Sie diese Aufgaben nacheinander bei den Eingangsspannungen durch, die auf dem Arbeitsblatt angegeben sind und erhöhen Sie die Eingangsspannungen in den im Arbeitsblatt (U_{\uparrow}) angegebenen Bereichen der Eingangsspannung bis zur verzerrungsfreien Darstellung des zur Kennlinie gehörigen Ausgangssignals und notieren Sie den Wert.

Auswertung:

- Notieren Sie sich die Messergebnisse!
- Was können Sie über die Wirkung der beiden Kennlinien sagen?
- Nennen Sie den Vorteil der nichtlinearen Kennlinie?
- Wann und warum kommt es bei Einstellung mit minimaler Verstärkung erneut zu Verzerrungen, wenn das Eingangssignal über die im Arbeitsblatt angegebene Amplitude von 500mV hinaus erhöht wird?

5. Literatur:

- /1/ Herter, E., Löcher, W.: Nachrichtentechnik
Hanser-Verlag München, 1992
- /2/ Fritzsche, G.: Theoretische Grundlagen der Nachrichtentechnik
VEB Verlag Technik Berlin, 1987
- /3/ Lochmann, D.: Digitale Nachrichtentechnik 1
VEB Verlag Technik Berlin, 1990
- /4/ Hampe, D. u.a.: Das digitale Übertragungssystem PCM 30
Institut für Post- und Fernmeldewesen Berlin, 1981
- /5/ Lucas Nülle GmbH: Digitale Modulationsverfahren
Bedienungsanleitungen: Pulscodemodulator, Pulscodedemodulator, Co-
der/Decoder Kerpen, 1994

erarbeitet: 08.02.1996
überarbeitet: 21.05.2009
überarbeitet: 25.05.2013

Dipl.-Ing. Friedr. Wilh. Krebs, HTW
Prof. Dr.-Ing. S. Zeisberg, HTW
Dipl.-Ing. (FH) W.-D. Bretschneider, HTW