

MODULATION 3+4 (PAM, PCM, Deltamodulation)

Lernziel: Nach Durchführung der Übung kann der Lernende Pulsmodulationen und ihre Anwendung im Telefonsystem beurteilen.

Literatur: KSN-Mitschriften, Stadler („Modulationsverfahren“), Nührmann („Werkbuch der Elektronik“) bzw. Spezialbücher zum Thema.

Vorbereitung: Die HPS-Anleitungen **vor der Übung** durchlesen. Wiederholung des entsprechenden Stoffes aus KSN.

Fragen: gemäß KSN-Unterricht **und die in dieser Messanweisung enthaltenen Theorieabschnitte!**

ÜBUNGSDURCHFÜHRUNG

Messungen mit den HPS-Boards gemäß nachfolgenden Anleitungen

PROTOKOLL

Zu Beginn der Übung ist dem Übungsleiter der Protokollführer zu benennen. In das Protokoll sind nur jene Schaltungen einzutragen, die nicht bereits in den HPS-Unterlagen abgebildet sind!

Die Messergebnisse sind **unter Angabe der Nummerierung der Unterlagen** einzutragen.

Oszilloskopbilder, bei denen mehr als zwei Spannungsverläufe verlangt sind, sind so anzufertigen, dass alle Spannungsverläufe dieselbe Zeitachse besitzen. Außerdem **muss ein exakter Zusammenhang sichtbar sein**, d.h. der zeitliche „Nullpunkt“ muss für alle Spannungsverläufe ident sein! Eintragungen von Hand in die HPS-Unterlagen werden nicht bewertet.

Alle Fragen sind (unter Hinweis, auf welcher Seite der HPS-Unterlagen sie gestellt wurden) zu beantworten.

Das Protokoll ist wie üblich **ZU BEGINN** der nächsten Übungsstunde abzugeben.

6. Pulsmodulationsverfahren

6.1 Theoretische Einführung

Grundlage der Pulsmodulation ist die Verwendung eines pulsförmigen Trägersignals, das durch ein analoges Informationssignal moduliert wird. Je nach Art der Veränderung des Trägerimpulses erhält man:

Pulsfrequenzmodulation	PFM
Pulsphasenmodulation	PPM
Pulsdauermodulation	PDM
Pulsamplitudenmodulation	PAM

Die Verfahren Pulsfrequenz- und Pulsphasenmodulation wurden wegen der Art ihrer Erzeugung in Kapitel 4.7 (Winkelmodulation) behandelt.

Die Pulsdauermodulation (engl.: PWM Pulse width modulation) hat als Verfahren zur Nachrichtenübertragung wenig Bedeutung.

In der Leistungselektronik lässt sich jedoch mit der Pulsdauermodulation eine Leistungssteuerung vornehmen. Da bei dieser Art der Leistungssteuerung die Transistoren oder Röhren im Schalterbetrieb arbeiten, wird ein hoher Wirkungsgrad erreicht. Dies nutzt man beispielsweise bei Hochleistungs-AM-Rundfunksendern aus.

Die Pulsamplitudenmodulation wird wegen ihrer Störanfälligkeit und der benötigten großen Übertragungsbandbreite nicht auf Übertragungsstrecken eingesetzt, sie wird aber als Zwischenstufe zu anderen Modulationsverfahren wie z.B. der PDM, der PPM und der PCM verwendet.

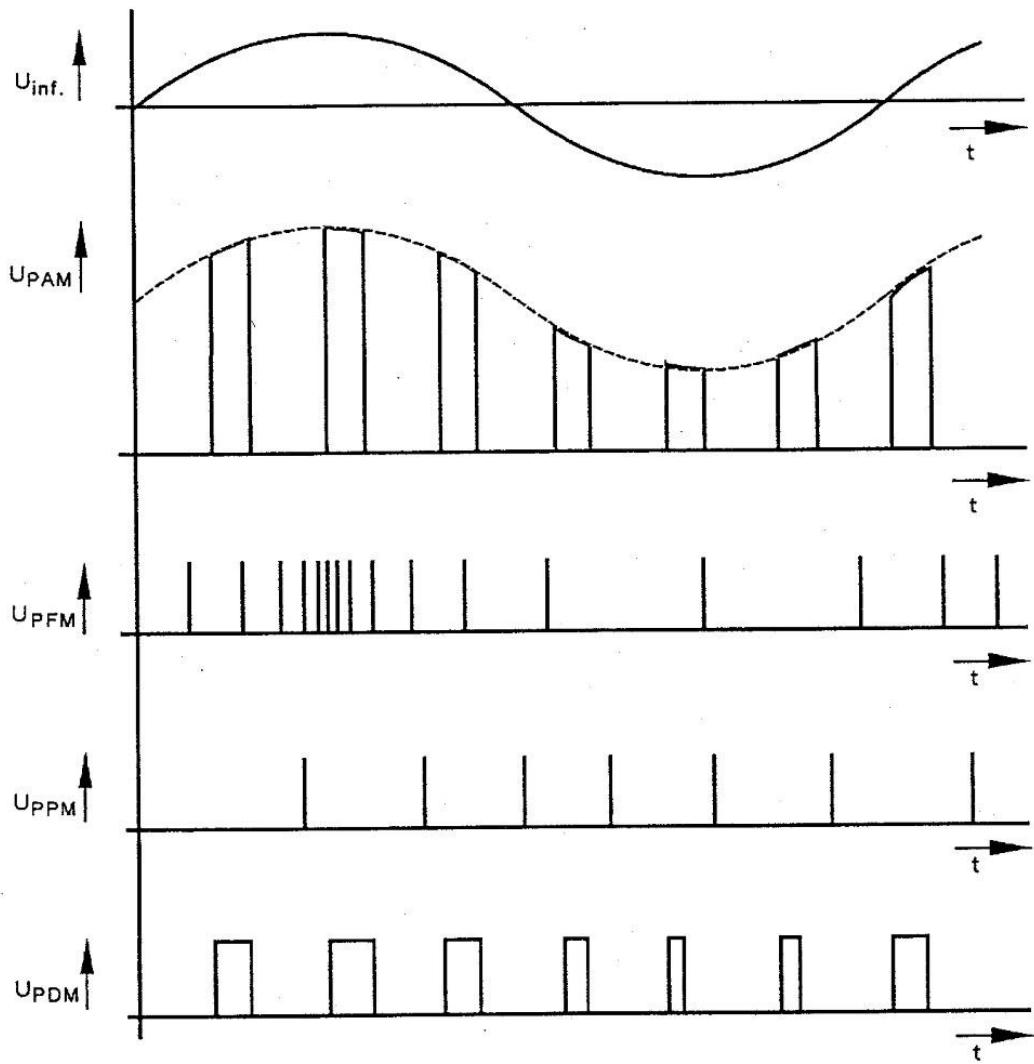
Übersicht über die verschiedenen Pulsmodulationsverfahren

Abb. 6.1.1

6.2 Erzeugung eines pulsamplitudenmodulierten Signals

Allgemeines

Die Pulsamplitudenmodulation wird kaum zur Nachrichtenübertragung herangezogen. Sie wird jedoch vielfach als Zwischenstufe für andere Pulsmodulationsverfahren und für das Zeitmultiplexverfahren eingesetzt.

Bei der Pulsamplitudenmodulation wird das zu modulierende Signal, z.B. ein Fernsprechsignal, durch eine digitale Impulsfolge abgetastet (oft verwendeter Begriff: sampling). Obwohl nur diese kurzen Abtastimpulse übertragen werden, ist es auf der Empfangsseite möglich, das ursprüngliche Signal vollständig zurückzugewinnen. Voraussetzung dafür ist jedoch:

- eine Bandbegrenzung des Nachrichtensignals vor der Modulation
- die Anzahl der Abtastwerte muß in einem bestimmten Verhältnis zur höchsten Informationsfrequenz stehen (Abtasttheorem, siehe hierzu Kap. 6.4).

Die Abbildung 6.2.1 verdeutlicht diesen Modulationsvorgang. Bei der Modulation entsteht eine Pulsfolge, deren Amplitude genau der Amplitude des Eingangssignals zu den entsprechenden Zeitpunkten entspricht.

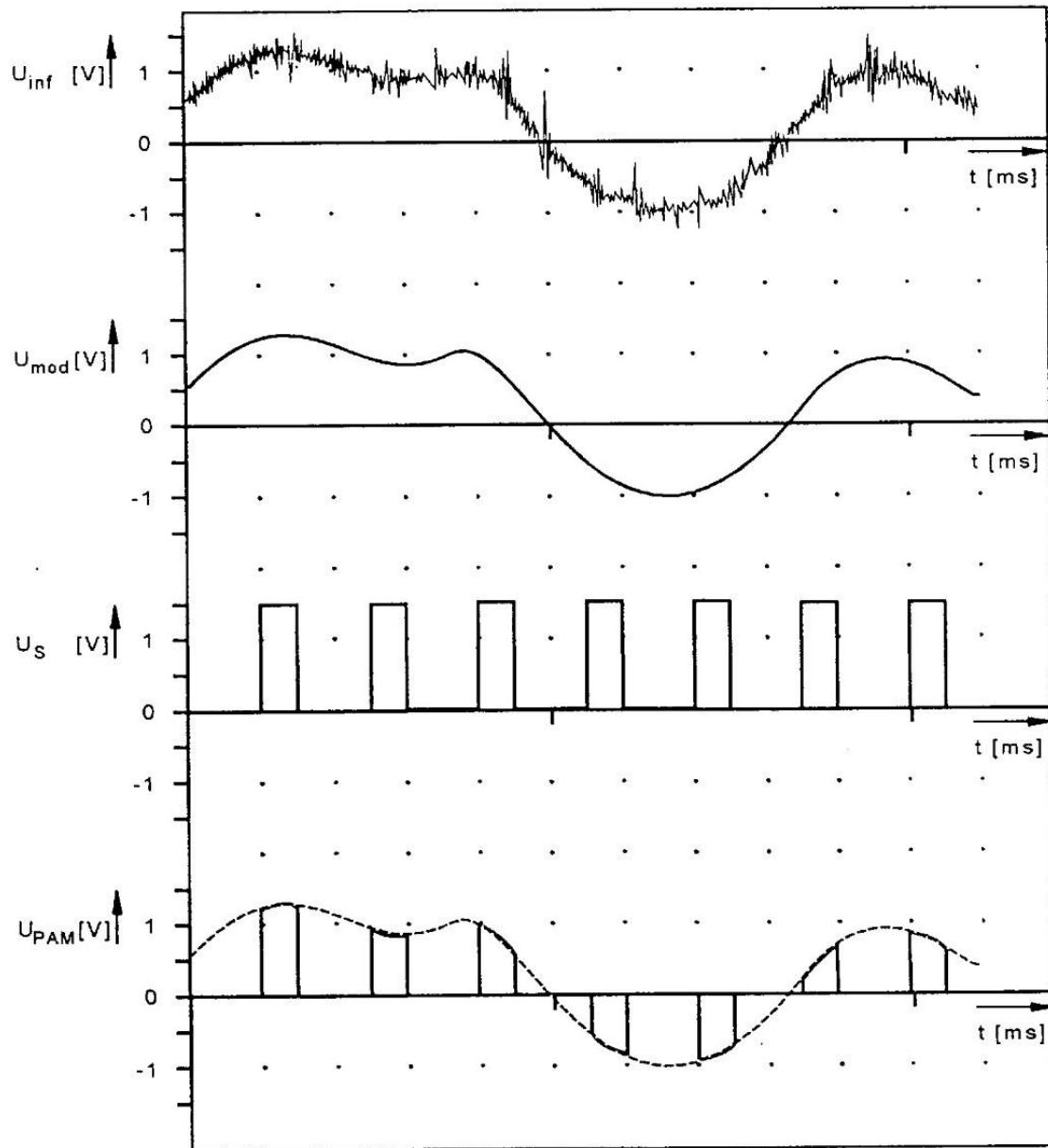
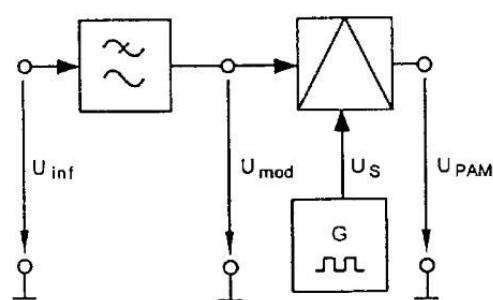


Abb. 6.2.1

Der Modulator für pulsamplitudenmodulierte Signale ist sehr einfach mit einem Analogschalter zu realisieren, auch ist der Tiefpaß im Eingang des Modulators unter bestimmten Bedingungen nicht erforderlich. Wird die Informationsspannung z.B. mit einem Analogschalter abgetastet, so entsteht die sogenannte bipolare Modulation. Wird die Informationsspannung durch Addition einer Gleichspannung so weit ins Positive oder Negative verschoben, daß das Eingangssignal die Polarität nicht mehr wechselt, so entsteht eine unipolare Modulation.

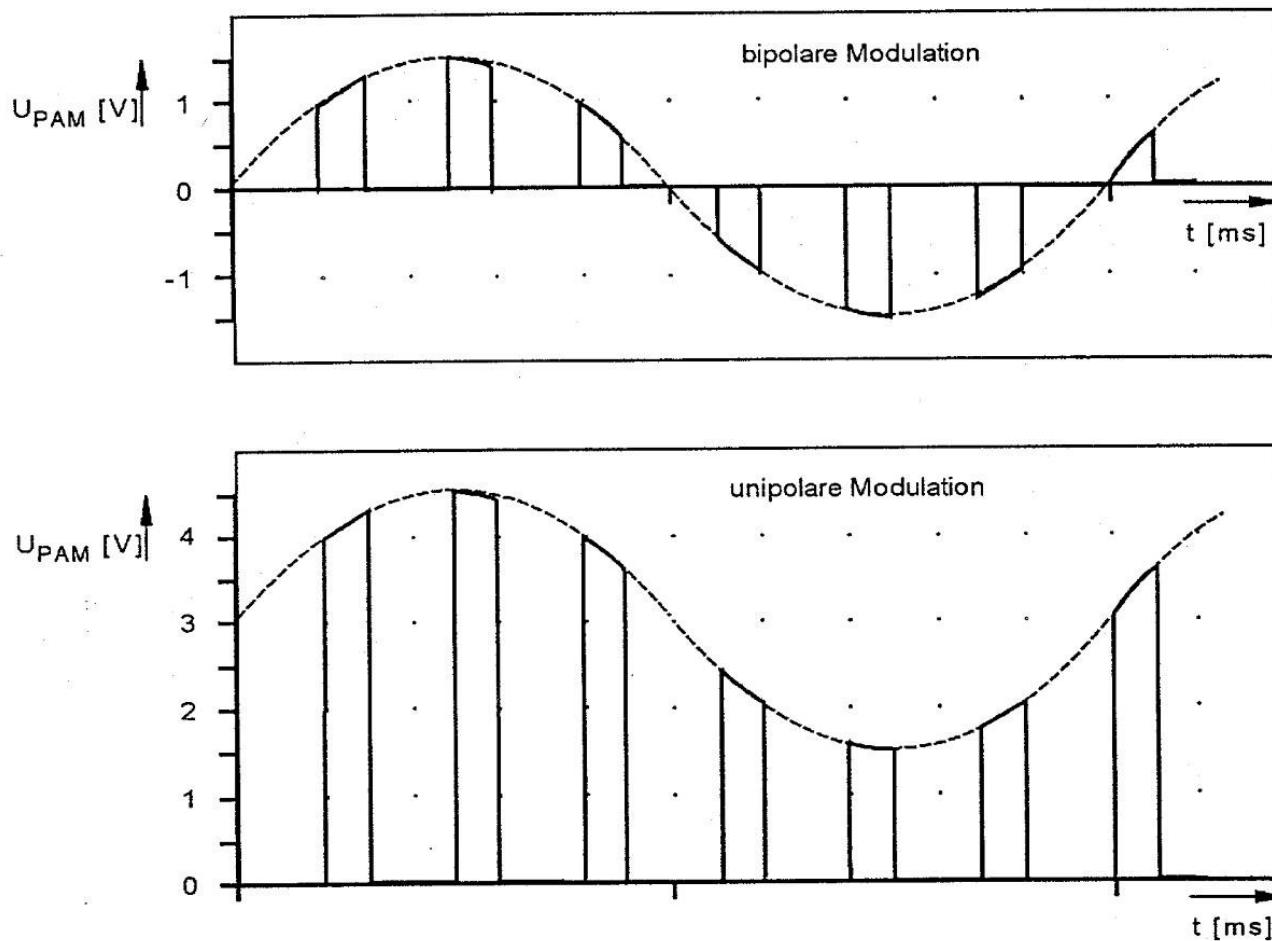


Abb. 6.2.2

Aufgabe:

Erzeugen Sie ein bipolares pulsamplitudenmoduliertes Signal, stellen Sie im vorbereiteten Diagramm 6.2.4 die Informationsspannung, das Abtastsignal und das Ausgangssignal dar.

Verwenden Sie den Analogschalter, der normalerweise als ASK-Modulator verwendet wird.

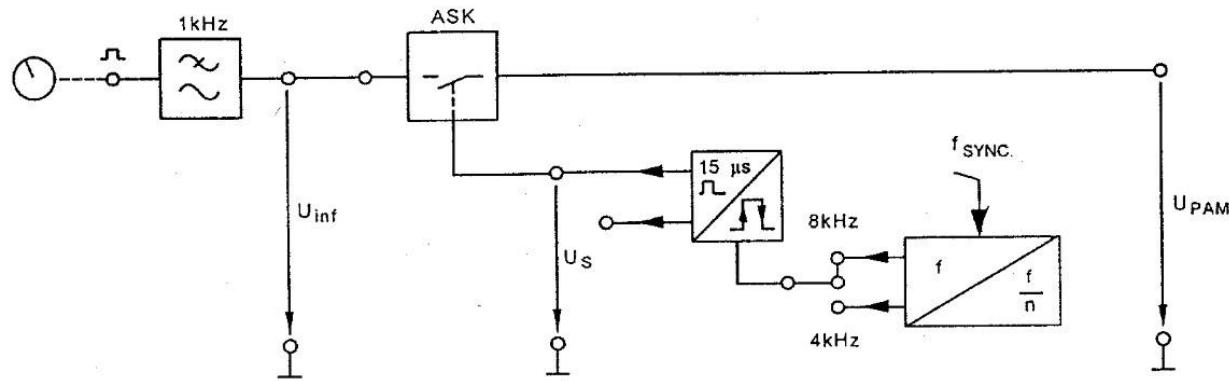
Versuchsaufbau und Durchführung

Abb. 6.2.3

Einstellwerte

$$U_{\text{inf}} \quad f = 1 \text{ kHz} \quad \hat{u} = 1,5 \text{ V}$$

$U_s \quad f = 8 \text{ kHz}$ Das 8 kHz-Schaltsignal steht mit einer Impulsdauer von ca. $15 \mu\text{s}$ am Schalteingang des eigentlichen PAM-Modulators mit TTL-Pegel zur Verfügung.

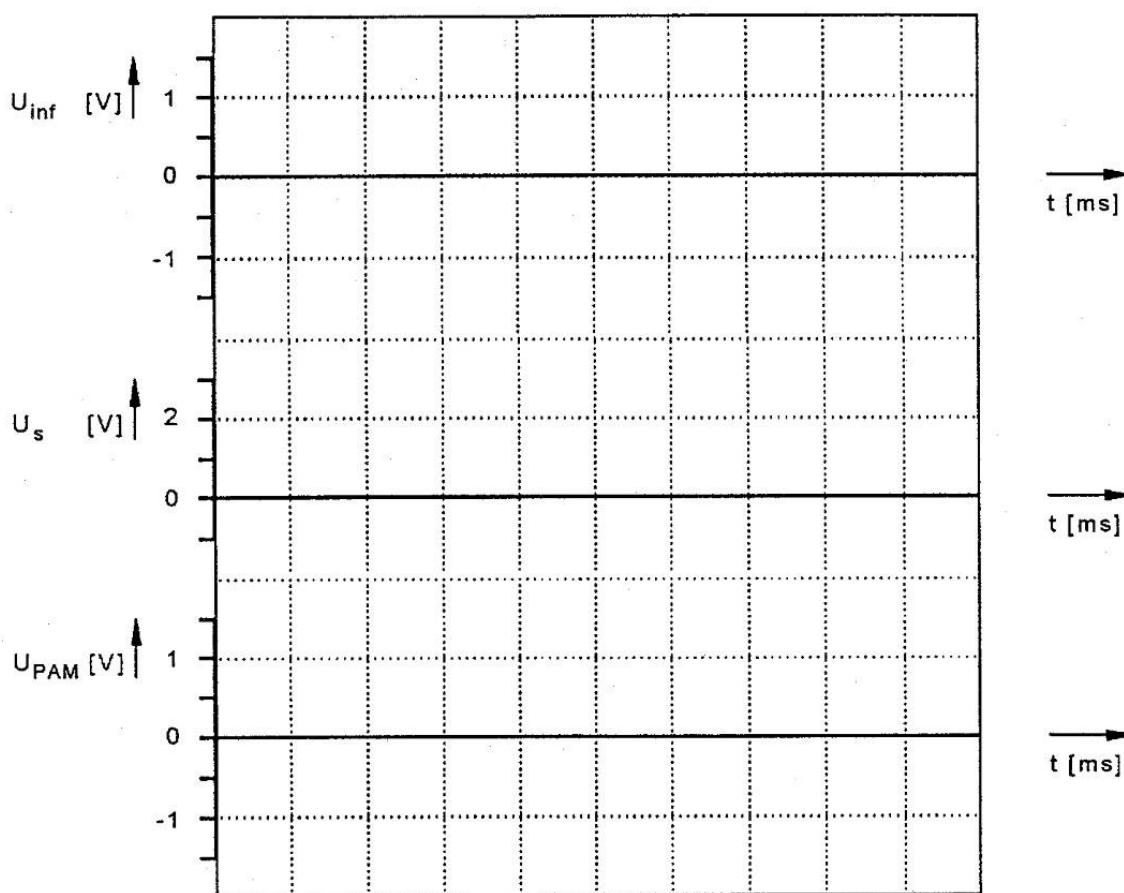


Abb. 6.2.4

Frage: Wie ist die Schaltung in Abb. 6.2.3 zu erweitern, damit ein unipolares PAM-Signal entsteht?
Ergänzen Sie die Schaltung, und zeichnen Sie die Ausgangsspannung in das Diagramm
Abb. 6.2.5 ein.

Antwort:

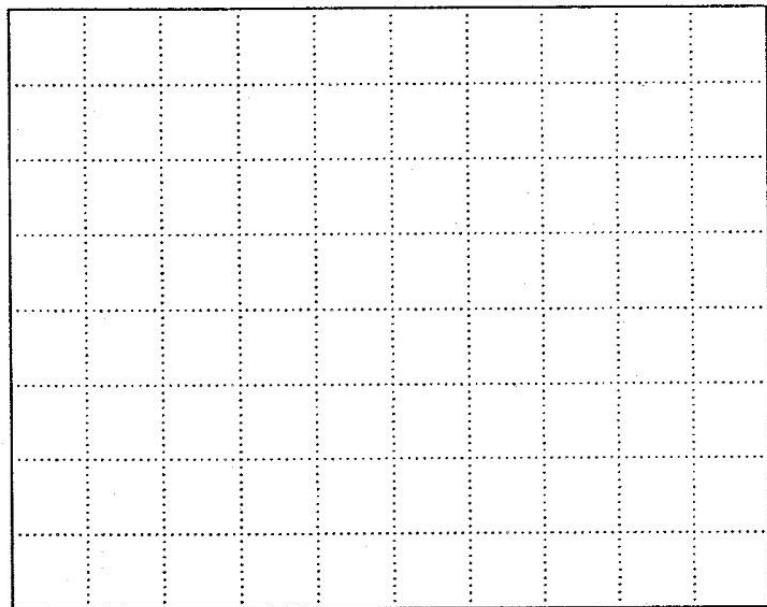


Abb. 6.2.5

6.3 Frequenzspektrum des pulsamplitudenmodulierten Signals

Allgemeines

Der unmodulierte Abtastimpuls hat ein sehr großes Frequenzspektrum. Es enthält Frequenzkomponenten bei f_s , $2 \cdot f_s$, $3 \cdot f_s$...

Um die Impulsform des Abtastimpulses oder eines PAM-Signals über eine Übertragungsstrecke zu erhalten, ist deshalb eine große Übertragungsbandbreite nötig. Die Bandbreite richtet sich nach dem Tastverhältnis des Impulses. Je schmäler der Impuls wird, desto ausgedehnter ist das Frequenzspektrum.

In Abb. 6.3.1 ist das Spektrum eines Impulses mit der Pulsbreite $\tau = 12 \mu s$ dargestellt.

Damit die Impulsform erhalten bleibt, sollte die Bandbreite des Systems so groß sein, daß bis mindestens zur ersten Nullstelle der Hüllkurve des Spektrums übertragen wird. Diese erste Nullstelle eines Impulses mit $12 \mu s$ liegt bei $\frac{1}{12 \mu s} = 83,3 \text{ kHz}$.

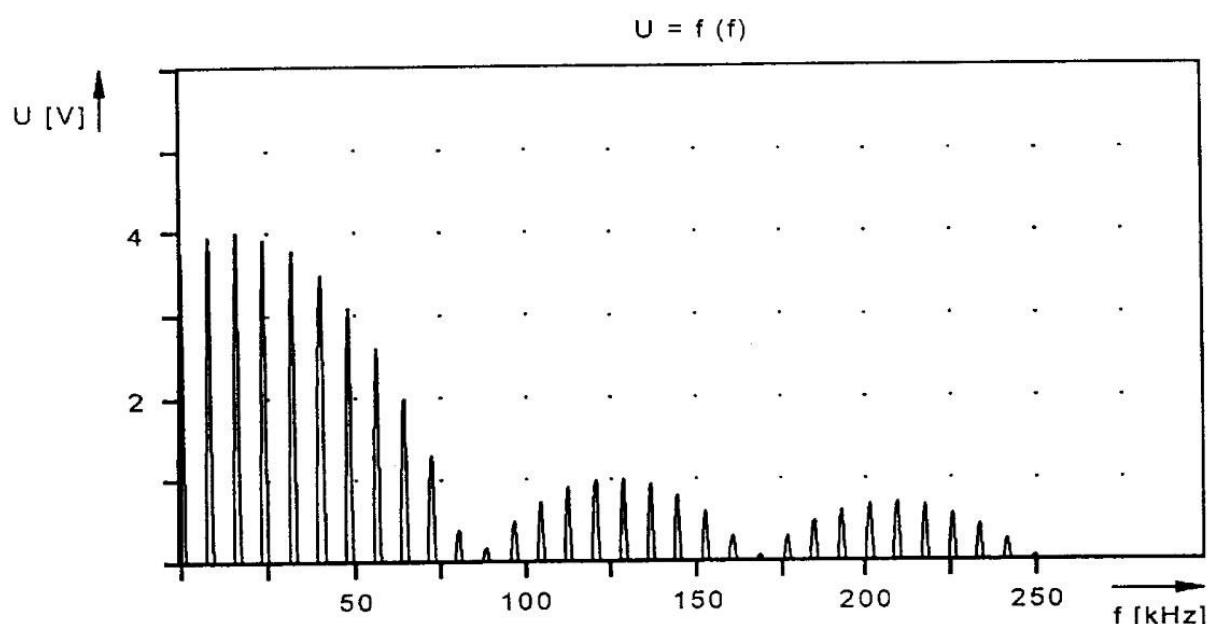


Abb. 6.3.1

Bei der Modulation der Signalschwingung mit einem Pulsträger entstehen, ähnlich einer Amplitudenmodulation, Seitenschwingungen unterhalb und oberhalb der Oberschwingungen des Pulsträgers. Auch die Signalfrequenz kommt im entstandenen Spektrum vor.

Aufgabe

Ermitteln Sie das Frequenzspektrum der Ausgangsspannung U_{PAM} bei den jeweils angegebenen Eingangsspannungswerten, und zeichnen Sie dieses in die vorbereiteten Diagramme Abb. 6.3.3.

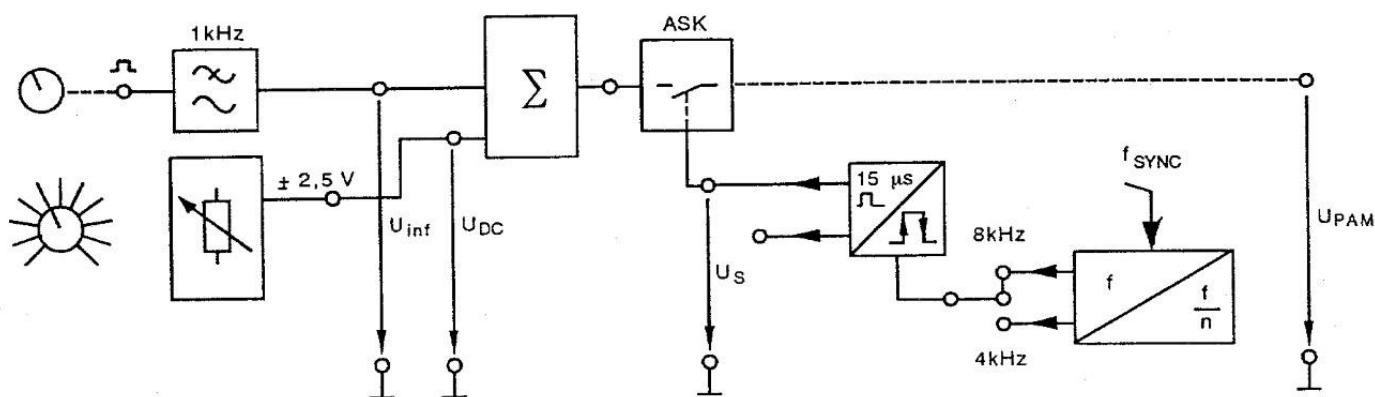
Versuchsaufbau und Durchführung

Abb. 6.3.2

- Fragen:
- Bei welcher Frequenz ist das erste Minimum in der Amplitude der Spektrallinien zu beobachten?
 - Stimmt das meßtechnisch ermittelte Minimum mit dem rechnerischen Wert $f = \frac{1}{\tau}$ überein?
 - In welchem Frequenzabstand folgen die Spektrallinien, wenn nur der Abtastimpuls analysiert wird?
 - Wie unterscheidet sich das Spektrum einer unipolaren von dem einer bipolaren PAM?
 - Wie kann ein PAM-Signal demoduliert werden?

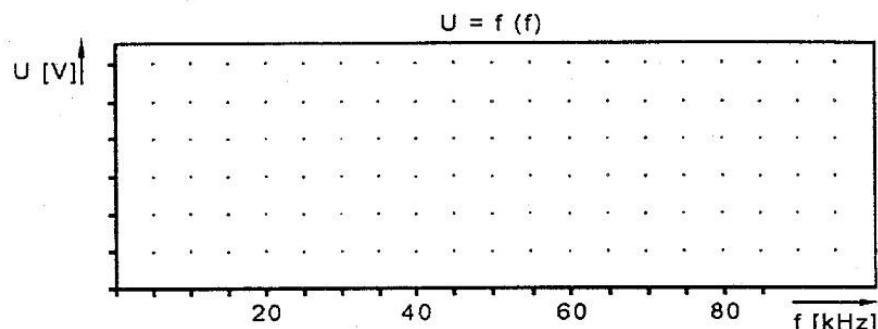
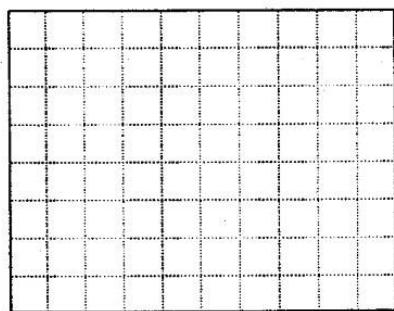
Antworten:

Einstellwerte

$$U_{inf} = 0 \text{ V}$$

$$U_{DC} = 2,5 \text{ V}$$

$$U_s = 8 \text{ kHz} \quad \text{TTL-Pegel}$$

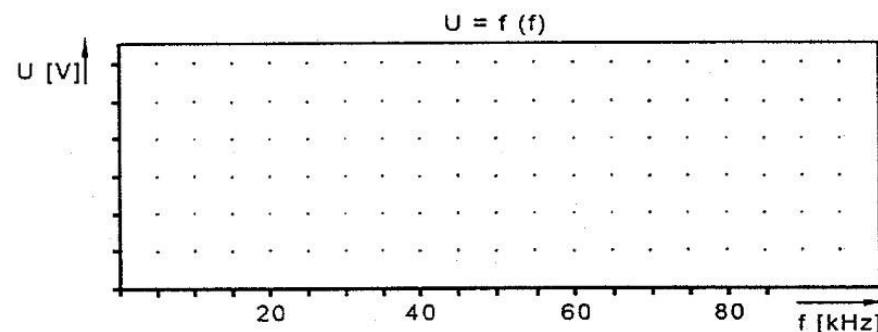
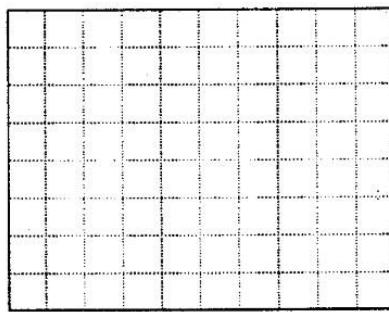


Einstellwerte

$$U_{inf} = 1 \text{ kHz} \quad \hat{U} = 2 \text{ V}$$

$$U_{DC} = 0 \text{ V}$$

$$U_s = 8 \text{ kHz} \quad \text{TTL-Pegel}$$



Einstellwerte

$$U_{inf} = 1 \text{ kHz} \quad \hat{U} = 1.5 \text{ V}$$

$$\hat{U} = 1.5 \text{ V}$$

$$U_{DC} = 2,5 \text{ V}$$

$$U_s = 8 \text{ kHz} \quad \text{TTL-Pegel}$$

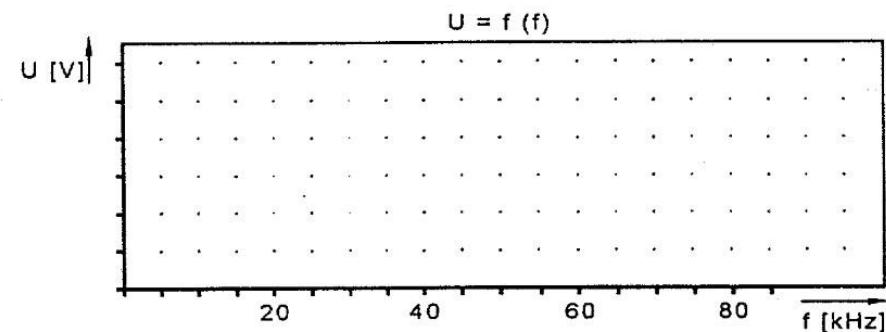
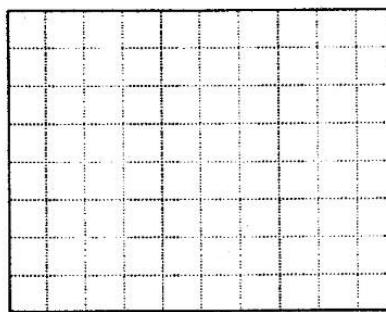


Abb. 6.3.3

6.4 Erklärung des Abtasttheorems

Nach dem Abtasttheorem von Shannon muß die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch sein wie die höchste Informationsfrequenz.

$$f_s > 2 \cdot f_{\text{inf}}$$

f_s = Abtastfrequenz, Samplingfrequenz

f_{inf} = Informationsfrequenz

Bei festgelegter Abtastfrequenz bedeutet das in der Praxis, daß das Informationssignal in seiner Bandbreite begrenzt werden muß.

Beispiel

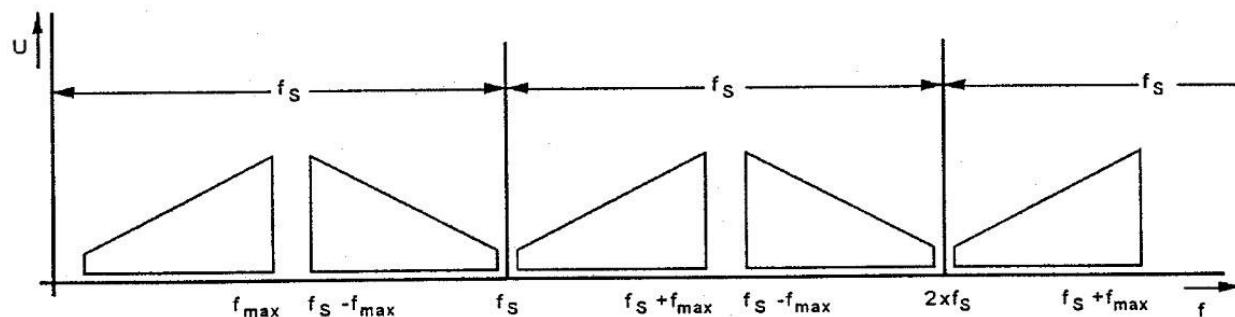
Die Bandbreite des Telefoniebandes reicht von 0,3 ... 3,4 kHz. Die minimale Abtastfrequenz beträgt dann $2 \times 3,4 \text{ kHz} = 6,8 \text{ kHz}$.

Tatsächlich ist die Abtastfrequenz in praktischen Systemen auf 8 kHz festgelegt.

Beim Compact Disc System (CD) wird als Vorstufe zur PCM-Modulation auch mit der PAM-Technik gearbeitet. Die Abtastfrequenz beträgt dabei 44,1 kHz, die höchste Informationsfrequenz 20 kHz.

Man kann sich das Abtasttheorem auf unterschiedliche Arten erklären. Im Rahmen dieses Buches wird versucht, das Shannon-Theorem mit Hilfe des Frequenzspektrums darzustellen.

In der vorigen Übung haben wir gesehen, daß das Spektrum einer unipolaren Pulsamplitudenmodulation Ähnlichkeiten mit einer Amplitudenmodulation mit sinusförmigem Träger aufweist. Allerdings wiederholt sich die Kombination (aus Träger, unterem Seitenband, oberem Seitenband) bei den Vielfachen der Pulsfrequenz. Moduliert man den Pulsträger mit einem Signalband (z.B. dem Telefoniesprachband von 0,3 ... 3,4 kHz), so erhält man Seitenbänder unterhalb und oberhalb der Spektrallinien des Trägers.



f_s = Abtastfrequenz

f_{max} = maximale Informationsfrequenz

Abb. 6.4.1

Das Informationssignal kann in einem Empfänger über einen Tiefpaß mit der Grenzfrequenz $f_g = f_{\max}$ herausgefiltert werden.

Wird die Forderung des Abtasttheorems nicht erfüllt (entweder durch zu niedrige Abtastfrequenz oder zu hohe Informationsfrequenz), fällt ein Teil des unteren Seitenbandes der ersten Trägerharmonischen in das Sprachband. Das ursprüngliche Band kann dann nicht mehr ohne Fehler zurückgewonnen werden. Dieses Nichteinhalten des Abtasttheorems wird als „Aliasing“ bezeichnet. Abb. 6.4.2 veranschaulicht diesen Effekt bei Unterabtastung, d.h. bei zu niedriger Abtastfrequenz.

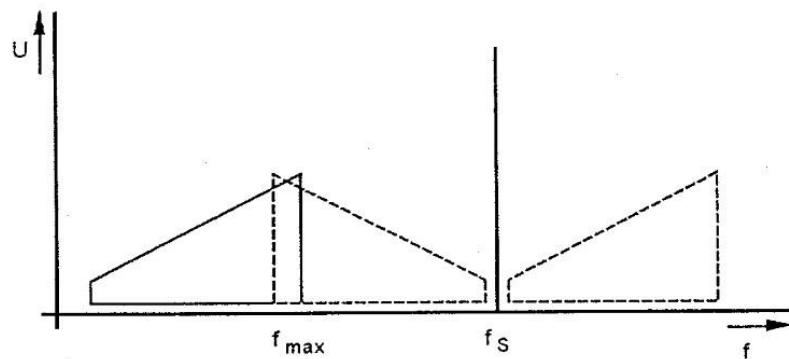


Abb. 6.4.2

Aufgabe

Bei dieser Aufgabe ist eine unipolare PAM zu erzeugen, und bei unterschiedlichen Informations- und Abtastfrequenzen zu untersuchen. Messen Sie das Frequenzspektrum bei den in Abb. 6.4.4 vorgegebenen Einstellwerten.

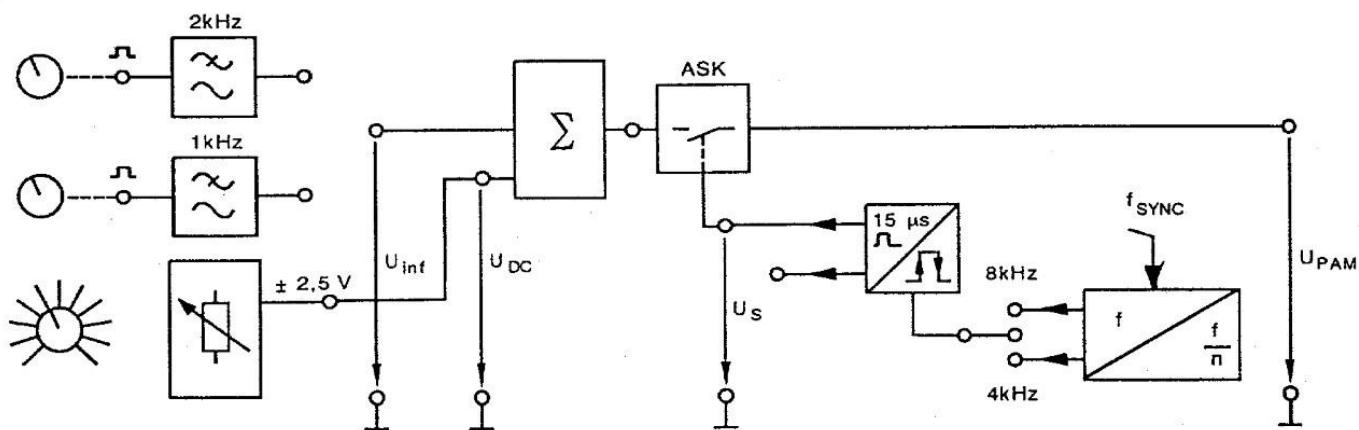
Versuchsaufbau und Durchführung

Abb. 6.4.3

Frage: In welchen Fällen kann das Informationssignal nicht mehr durch einen Tiefpaß $f_g = 3,4 \text{ kHz}$ aus dem PAM-Signal herausgefiltert werden?

Antwort:



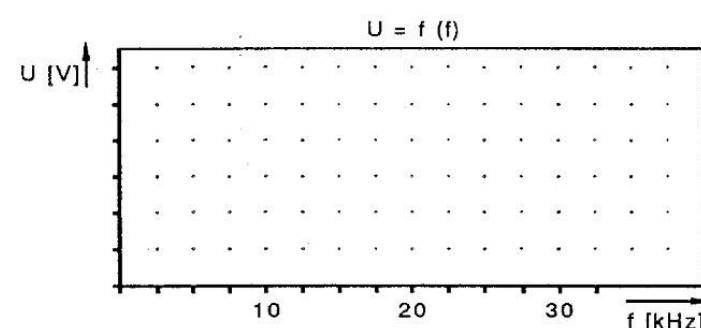
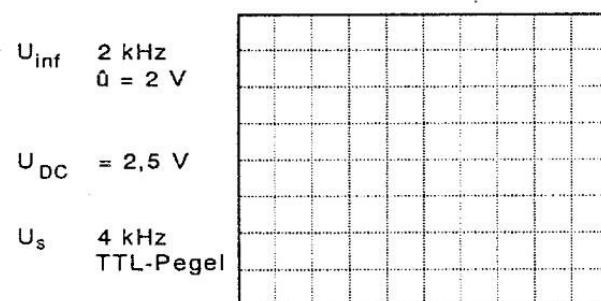
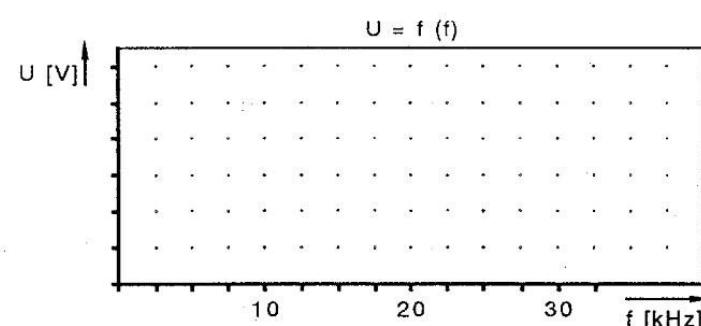
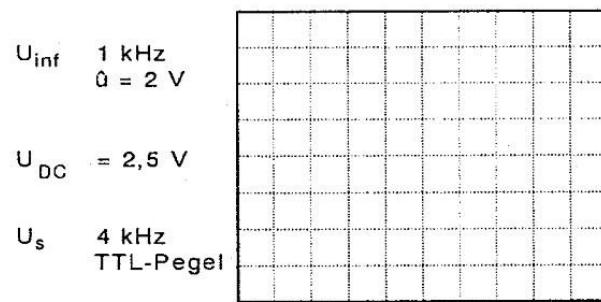
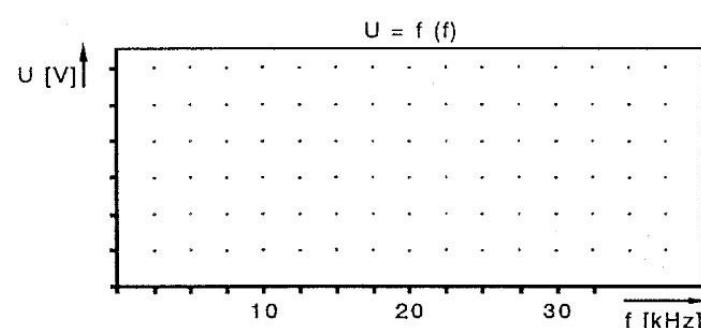
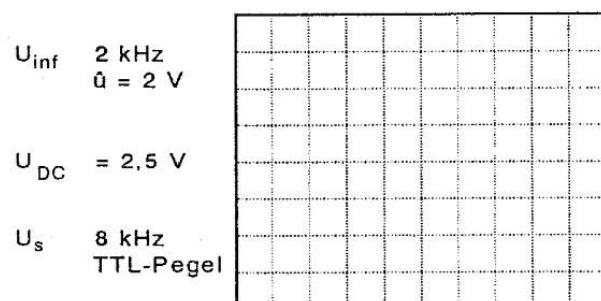
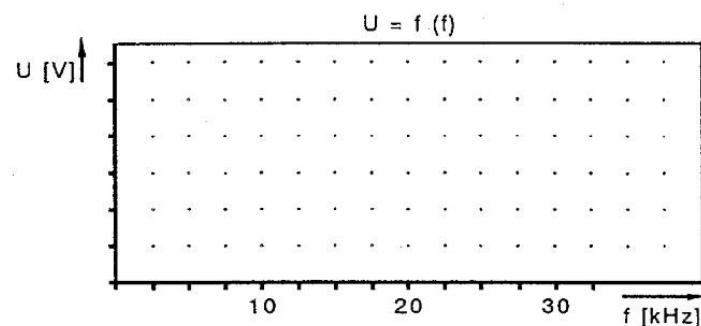
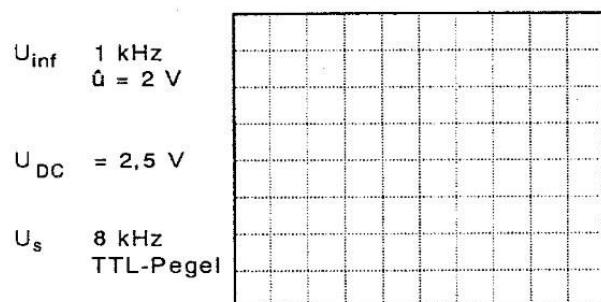


Abb. 6.4.4



6.5 Zeitmultiplexverfahren

Allgemeines

Mit dem Zeitmultiplexverfahren möchte man in der Nachrichtentechnik eine Mehrfachausnutzung von Übertragungsleitungen erreichen.

Da bei der Pulsamplitudenmodulation oder bei der Pulssphasenmodulation große Zeilücken zwischen den modulierten Impulsen entstehen, schachtelt man beim Zeitmultiplexverfahren in diese Zeilücken Impulse, die mit anderen Informationssignalen moduliert sind.

Jedes der zu übertragenden Signale wird dazu mit der gleichen Pulsträgerfrequenz abgetastet, jedoch zeitlich versetzt (siehe hierzu Abb. 6.5.3). Ist die Abtastfrequenz festgelegt, so bestimmt die Breite der Impulse die Anzahl der zu übertragenden Signale. Um eine gegenseitige Beeinflussung zu vermeiden, muß ein zeitlicher Abstand zwischen den einzelnen Abtastimpulsen eingehalten werden.

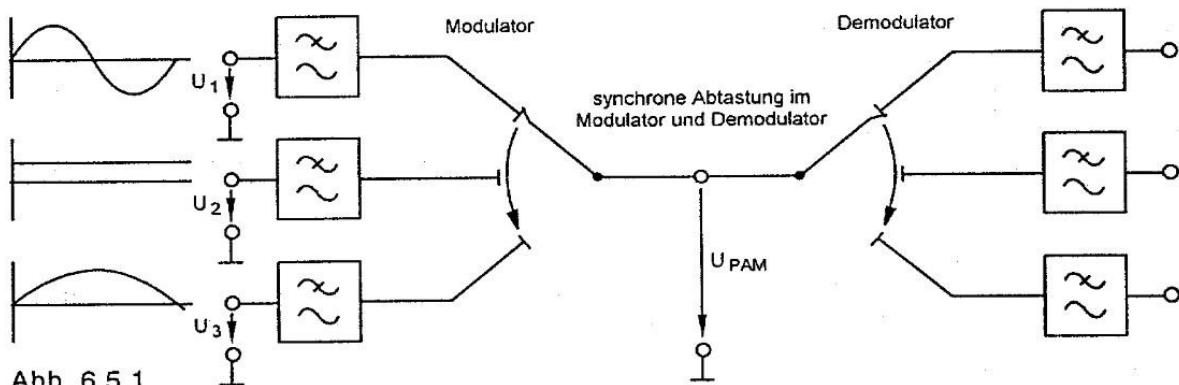


Abb. 6.5.1

Auch bei der Erfassung von Meßwerten aus verschiedenen Sensorquellen wird der Analogmultiplexer und somit das Zeitmultiplexverfahren angewandt. Die einzelnen Eingänge werden zeitlich nacheinander aktiviert und legen das Sensorsignal an den Eingang des A/D-Wandlers, oder ein Mikroprozessor wählt aus; wann und wie oft er auf einen bestimmten Eingang zugreift.

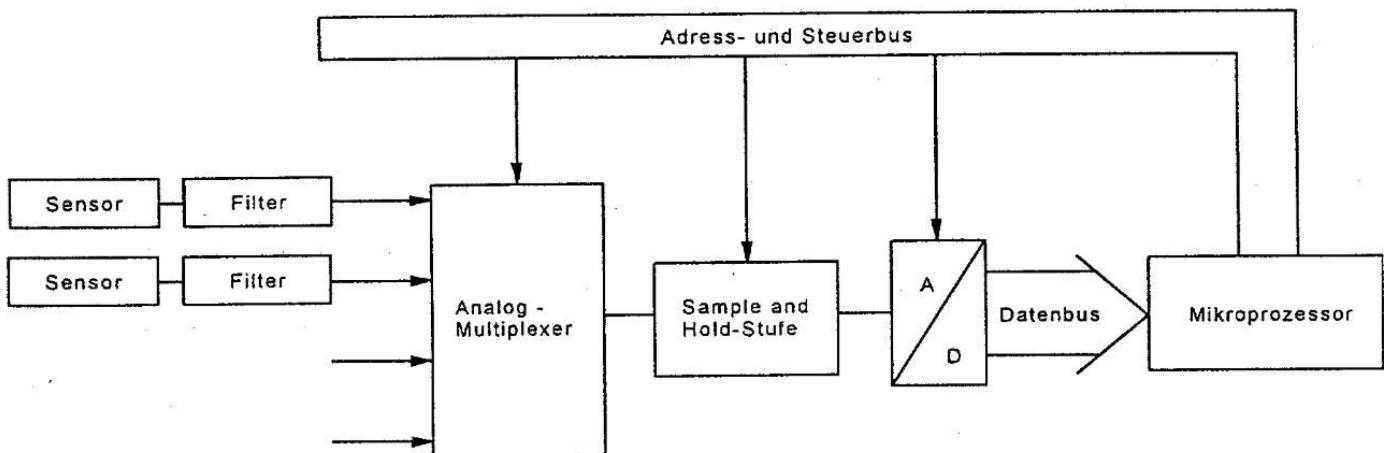


Abb. 6.5.2

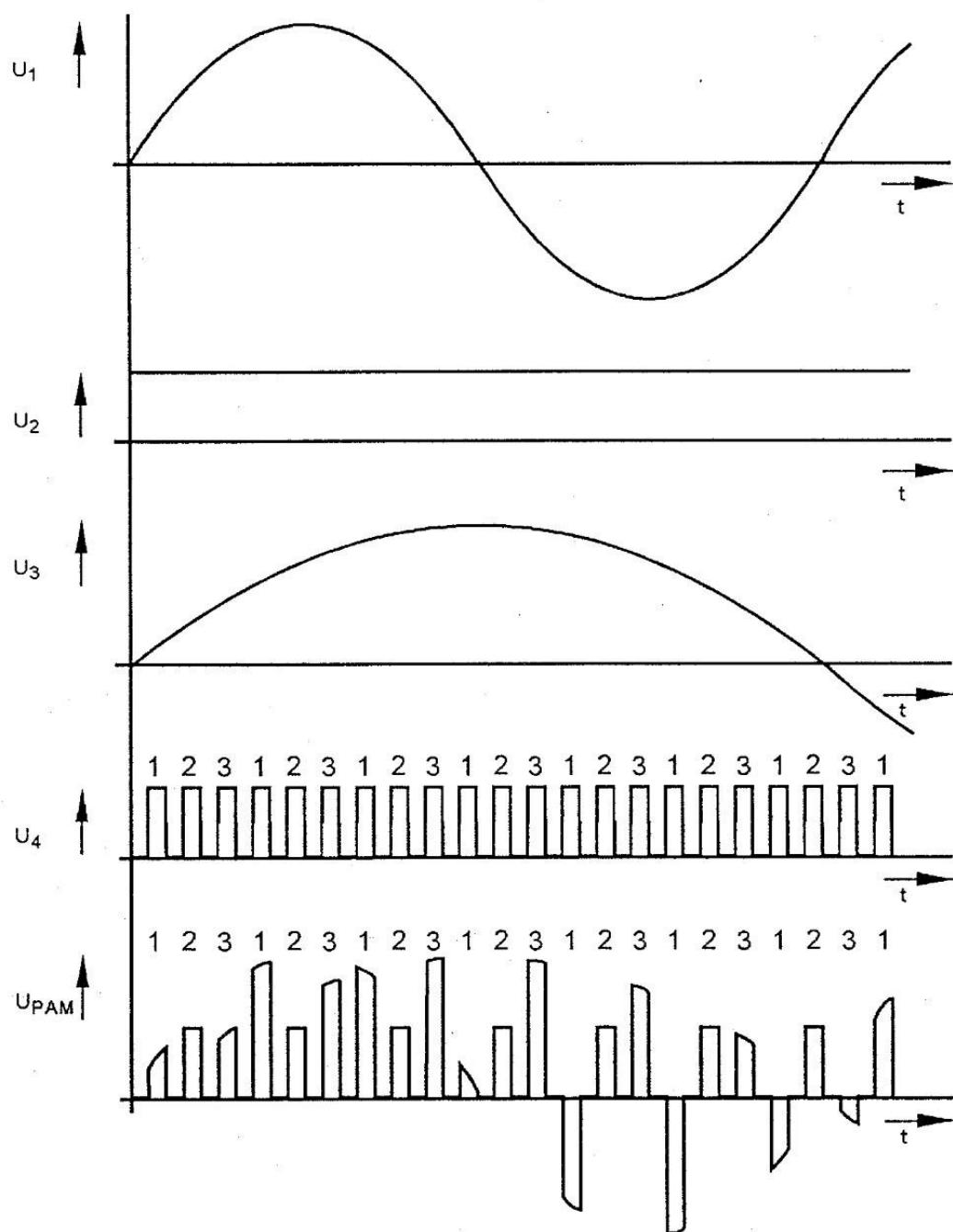


Abb. 6.5.3

Aufgabe

Erzeugen Sie ein PAM-Zeitmultiplexsignal. Messen Sie die in Abb. 6.5.5 geforderten Spannungen, und ermitteln Sie das Frequenzspektrum der Ausgangsspannung U_{PAM} .

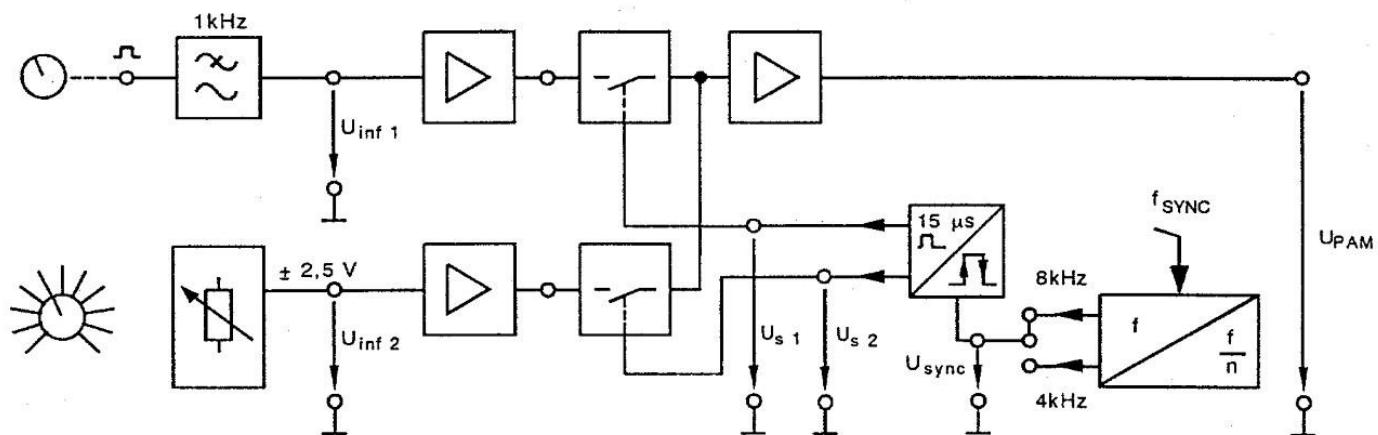
Versuchsaufbau und Durchführung

Abb. 6.5.4

Einstellwerte

$U_{inf\ 1}$	1 kHz	$\hat{U} = 1,5\ V$
$U_{inf\ 2}$		$U = +2\ V$
U_{Sync}	$f = 8\ kHz$	TTL-Pegel

- Fragen:
1. Handelt es sich bei der Spannung U_{PAM} um eine unipolare oder um eine bipolare PAM?
 2. Wieviel Kanäle könnte man theoretisch unter Beibehaltung der 8-kHz-Abtastfrequenz bei 15 µs Impulsbreite übertragen?
 3. Weshalb wird die PAM-Multiplextechnik nicht auf Übertragungsstrecken verwendet?

Antworten:



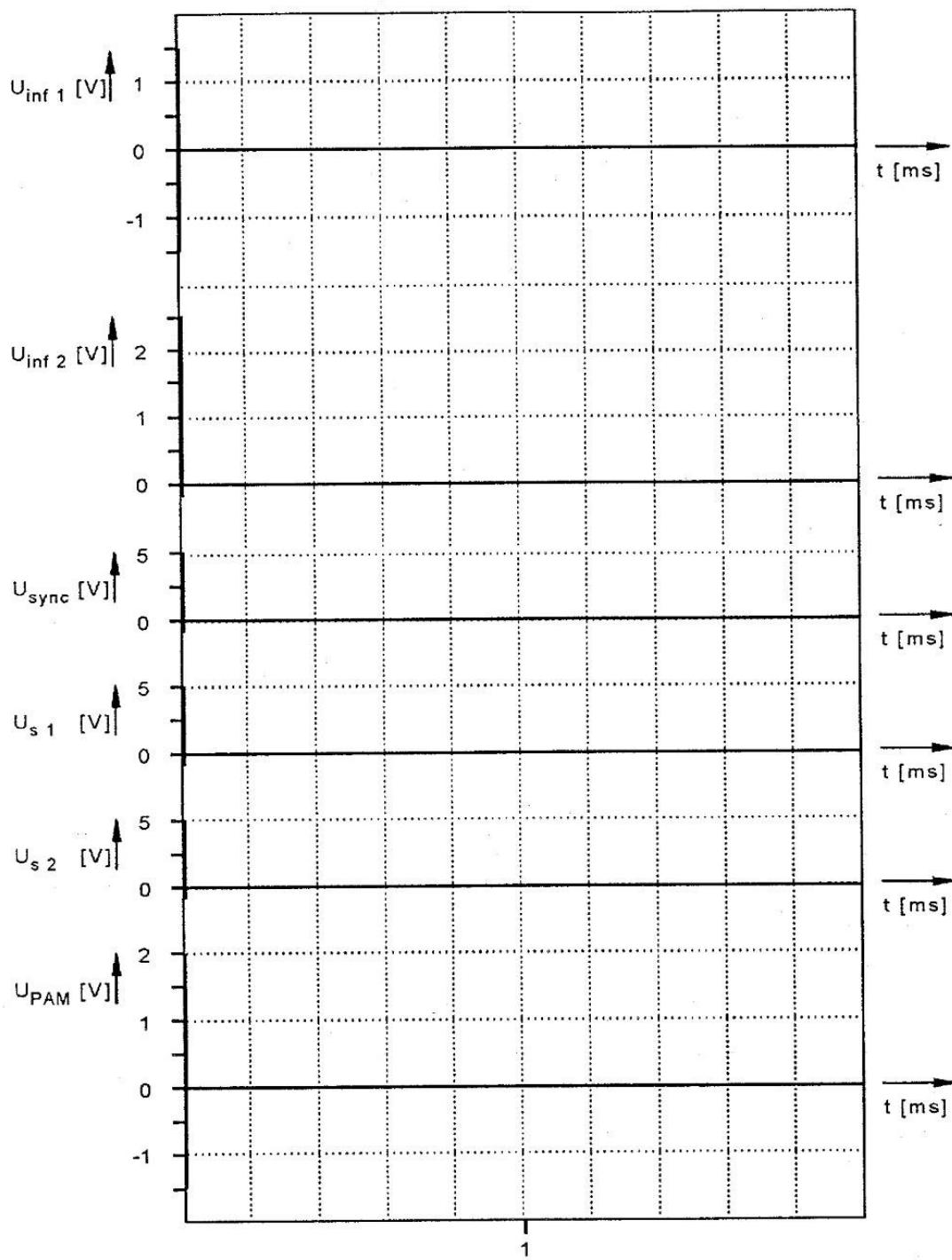


Abb. 6.5.5

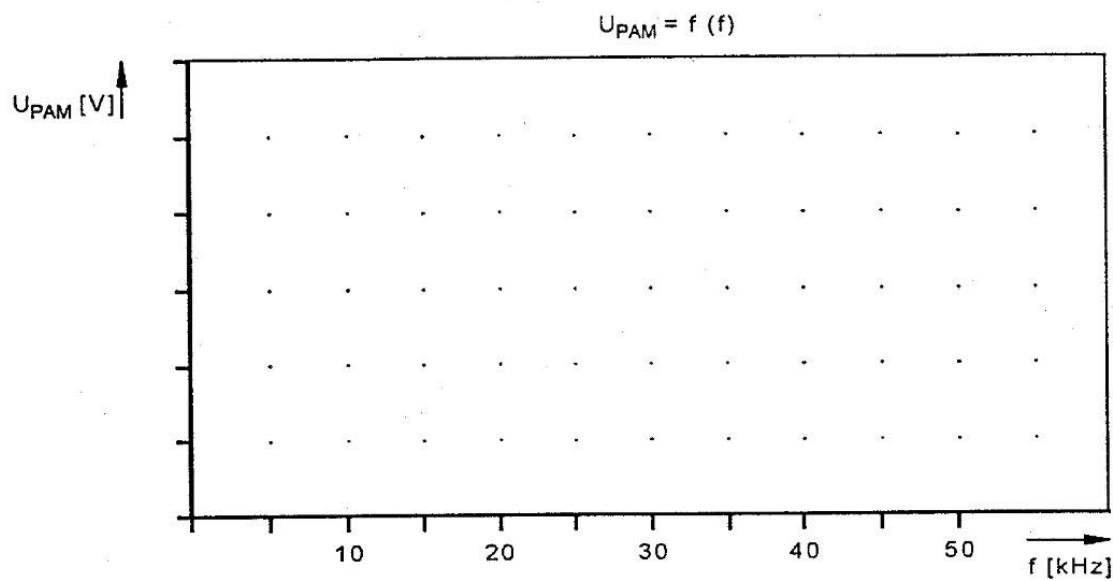


Abb. 6.5.6

Wiederholungsfragen zu Kapitel 6

Frage 1: Wie groß sollte die Bandbreite eines Übertragungssystems sein, wenn die Pulsbreite $15\mu s$ beträgt?

Antwort:

Frage 2: Mit welcher Abtastfrequenz muß ein Signal abgetastet werden, dessen höchste Frequenzen bei 15 kHz liegen?

Antwort:

Frage 3: Wieso muß vor der Abtastung eine Frequenzbandbegrenzung erfolgen?

Antwort:

Frage 4: Welche Pulsfolgefrequenz hat ein System, das mit 8 kHz abgetastet wird, und 32 Kanäle hat?

Antwort:



7. Pulscodemodulation

7.1 Theoretische Einführung

Aus der Erfahrung bei anderen Modulationsverfahren, z.B. AM und FM, wissen wir:

Der Einfluß von Störsignalen kann durch die Ausweitung des Nachrichtensignals auf ein breites Frequenzband erheblich reduziert werden.

Eine andere Möglichkeit, Störungen und Verzerrungen auf einer Übertragungsstrecke zu vermindern, ist die Verwendung digitaler Signale zur Übertragung. Die digitale Information kann direkt als Basisbandsignal über einen Tiefpaßkanal oder geträgert über einen Bandpaßkanal übertragen werden.

Man gewinnt die digitale Information, indem man das Nachrichtensignal in bestimmte Amplitudenstufen, die sogenannten Quantisierungsintervalle, einteilt. Jedem dieser Intervalle ist ein Codewort zugeordnet. Je feiner die Auflösung der Amplitudenstufen ist, um so größer wird die Anzahl der Quantisierungsintervalle und dadurch auch die Anzahl der Stellen des binären Codes.

Für eine Übertragung ist es nicht erforderlich, jeden Momentanwert des Informationssignales zu quantisieren und zu codieren.

Es genügen einzelne Abtastwerte, wie sie uns das PAM-Verfahren liefert. Deshalb wird die Puls-Amplituden-Modulation vielfach als Vorstufe zur Puls-Code-Modulation eingesetzt.

Im folgenden wird das Prinzip eines Pulscodemodulators dargestellt.

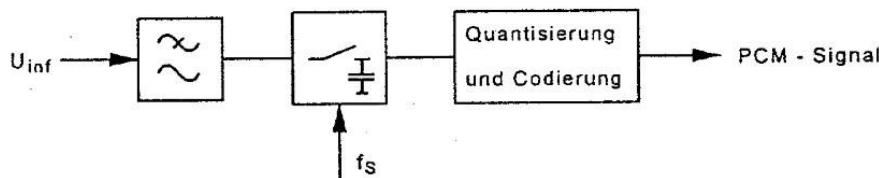


Abb. 7.1.1

Funktionsweise

Das Informationssignal wird mit dem Tiefpaß in seiner Bandbreite begrenzt (Forderung des Abtasttheorems $f_s > 2 \cdot f_{inf}$). Das frequenzbandbegrenzte Informationssignal wird mit der Abtastfrequenz f_s abgetastet. Da die Quantisierung und die Codierung nicht unendlich schnell sind, ist es sinnvoll, die Amplitude des Abtastwertes bis zum Eintreffen der nächsten Probe konstant zu halten. Dies wird durch eine Halteschaltung ermöglicht. Das Abtasten und Halten bildet eine Einheit, deshalb wird die Anordnung häufig als Abtast-Halteschaltung (engl.: sample and hold) bezeichnet. Diese Schaltung wird auch bei der Demodulation pulsamplitudinemodulierter Signale eingesetzt.

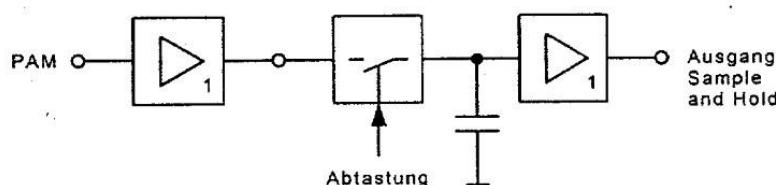


Abb. 7.1.2

Der gesteuerte Schalter legt den Momentanwert der Informationsspannung an den Kondensator. Der Kondensator wird in dieser kurzen Zeit geladen. Um eine schnelle Aufladung zu ermöglichen, muß der Durchlaßwiderstand des Schalters und der Innenwiderstand der Quelle möglichst niederohmig sein. Nach dem Öffnen des Schalters soll der Kondensator diesen Spannungswert bis zum Eintreffen des nächsten Impulses halten. Das erfordert eine hohe Entladezeitkonstante, die erreicht wird, wenn der Schalter sehr hochohmig wird und der Eingangswiderstand der folgenden Stufe sehr groß ist. Deshalb wird die Spannung am Kondensator mit einem hochohmigen Impedanzwandler abgegriffen.

Durch die Quantisierung des Informationssignals in eine begrenzte Anzahl von Amplitudenwerten entsteht ein Fehler, der sogenannte Quantisierungsfehler. Das durch diesen Fehler verursachte Störgeräusch wird als Quantisierungsgeräusch bezeichnet. Diesen Fehler könnte man durch eine Erhöhung der Anzahl der Quantisierungsstufen und somit kleinere Stufenbreite verringern. Dazu müßten dann jedoch mehr Bit und somit eine größere Bandbreite im Übertragungssystem zur Verfügung stehen.

Die Signalleistung des Fehlersignals ist nur abhängig von der Größe der Stufenbreite, nicht aber von der Nutzsignalamplitude. Das bedeutet, daß der Geräuschabstand bei kleinen Nutzamplituden geringer wird.

$$S_Q = 10 \lg \frac{P_{inf}}{P_Q}$$

S_Q = Signal/Quantisierungsgeräuschabstand

P_{inf} = Informationssignalleistung

P_Q = Quantisierungsgeräuschleistung

Durch eine ungleichmäßige Einteilung der Amplitudenabschnitte wird in einem großen Amplitudenbereich ein gleichmäßiger Signal-Geräusch-Abstand erreicht.

Nach CCITT wird in der Telefonieübertragung mit einer nichtlinearen Quantisierung gearbeitet. Zur Anwendung kommt die in Abb. 7.1.3 dargestellte 13-Segment-Komander-Kennlinie.

Bei der PCM für Telefonie wurde eine Wortlänge von 8 Bit festgelegt, was 256 Amplitudenstufen ergibt. Dies führt bei einer Abtastfrequenz von 8 kHz zu der genormten Bitrate von 8 Bit · 8 kHz = 64 kbit/s.

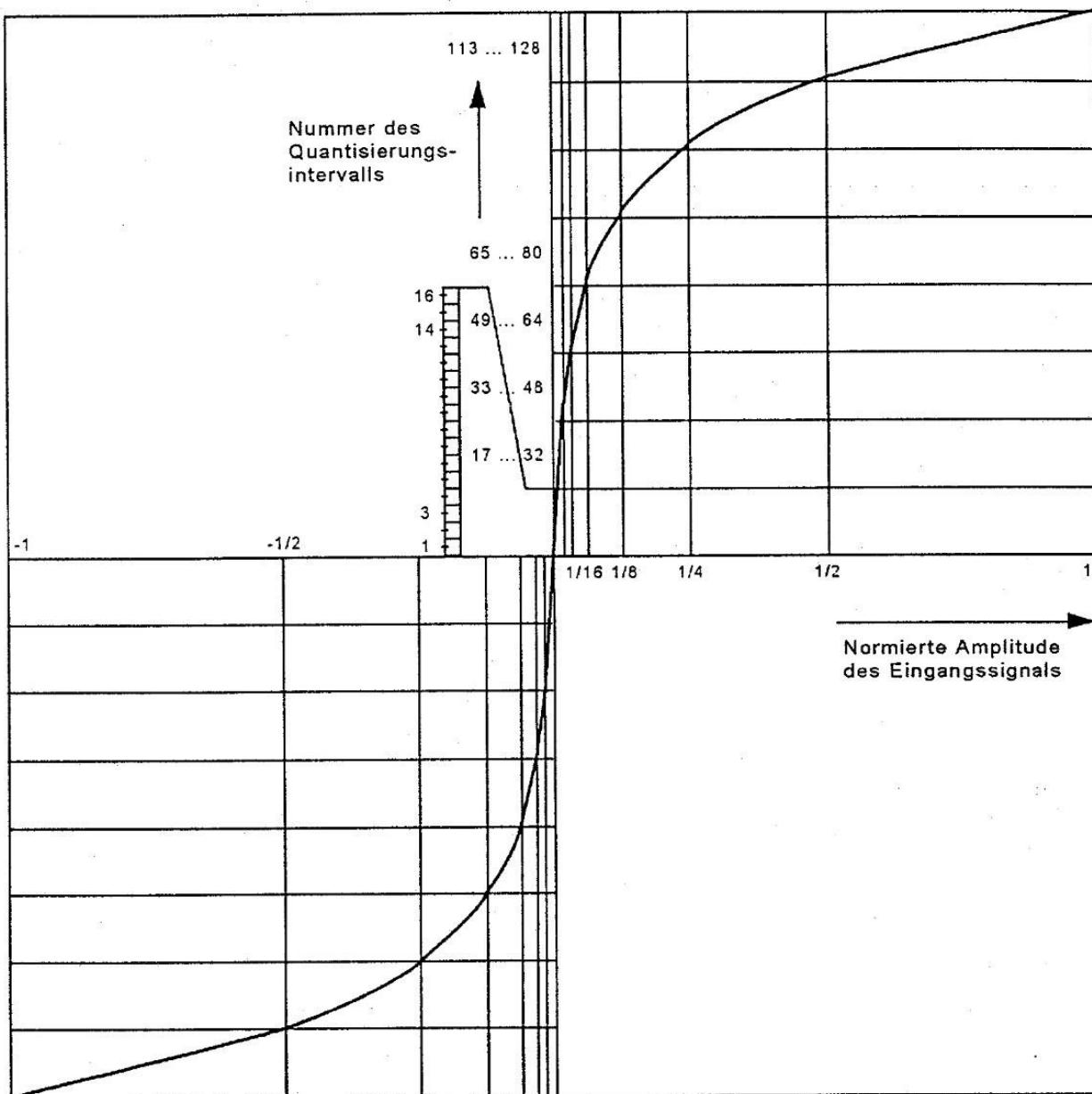


Abb. 7.1.3

7.2 Versuche am Pulscodemodulator

1. Teilversuch

Allgemeines

Der im MODULATION BOARD verwendete AD-Wandler arbeitet nach dem Verfahren der schrittweisen Annäherung. Bei diesem Verfahren, oftmals auch als Wägeverfahren bezeichnet, wird die Eingangsspannung mit einer Referenzgröße verglichen und ohne eine Zwischenenumsetzung in den Dualcode umgesetzt. In vielen Datenbüchern findet sich die Bezeichnung „successive approximation“ für diese Technik.

Aufgabe

Ermitteln Sie die Kennlinie des AD-Wandlers, der die Quantisierung und die Kodierung übernimmt.

Versuchsaufbau und Durchführung

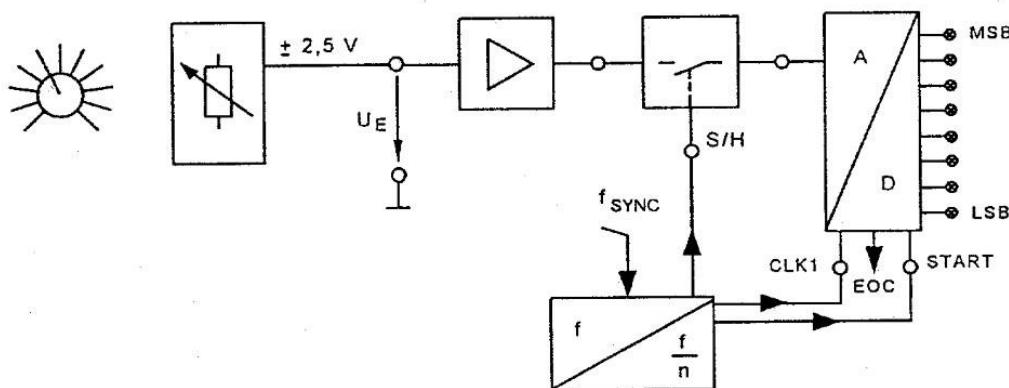


Abb. 7.2.1

Errechnen Sie zuerst die binären Codeworte im Dualcode für die in Abb. 7.2.2 angegebenen Nummern der Quantisierungsintervalle, und tragen Sie diese in die vorgegebene Bitmustertabelle ein. Die errechnete Bitkombination ist mit Hilfe der Gleichspannungsquelle einzustellen. Das Codewort des AD-Wandlers wird dabei mit 8 LEDs angezeigt. Die Gleichspannungswerte sind zu messen und im Diagramm einzutragen.

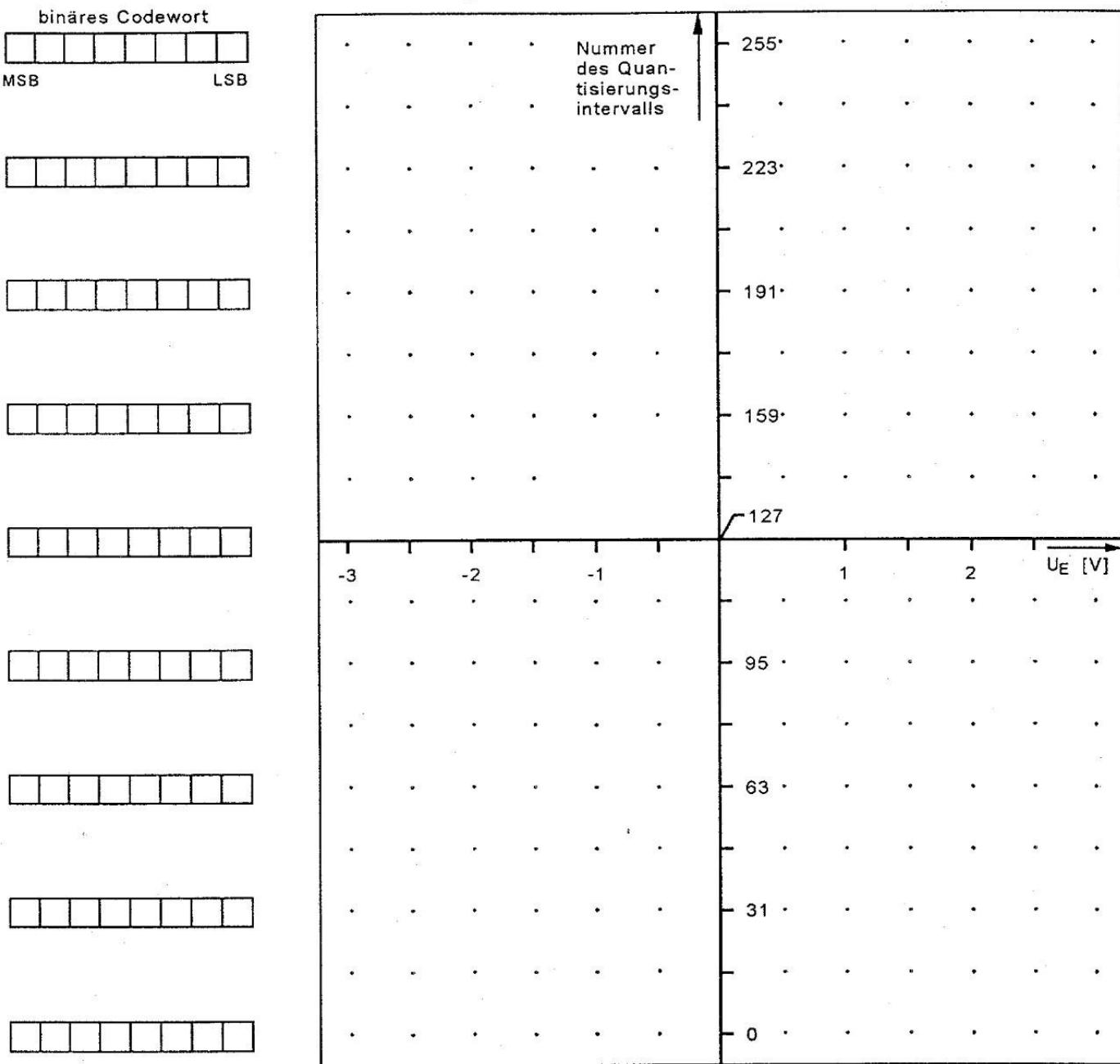


Abb. 7.2.2

- Fragen:
1. Ist die Quantisierungskennlinie linear oder nichtlinear?
 2. Welcher Amplitudenbereich kann gewandelt werden?
 3. Wie groß ist ein Quantisierungsintervall?
 4. Kann am digitalen Codewort die Polarität des ursprünglichen Signals abgelesen werden?

Antworten:

2. Teilversuch

Allgemeines

Auch beim MODULATION BOARD ist der mit dem AD-Wandler realisierten Quantisierung und Codierung, eine Abtast- und Halteschaltung vorgeschaltet. Da diese Schaltung nur dann sinnvoll ist, wenn sie synchron mit dem AD-Wandler arbeitet, wurde sie intern an den Generatorteil geknüpft, der auch sämtliche Frequenzen für den AD-Wandler erzeugt. Ein Parallel-Seriell-Wandler sorgt dafür, daß aus der parallelen Bitkombination aus dem AD-Wandler ein serieller Bitstrom wird.

Aufgabe

Messen Sie die in Abb. 7.2.4 geforderten Spannungen des Puls-Code-Modulators, und tragen Sie diese zeitlich richtig zugeordnet in das Diagramm ein.

Versuchsaufbau und Durchführung

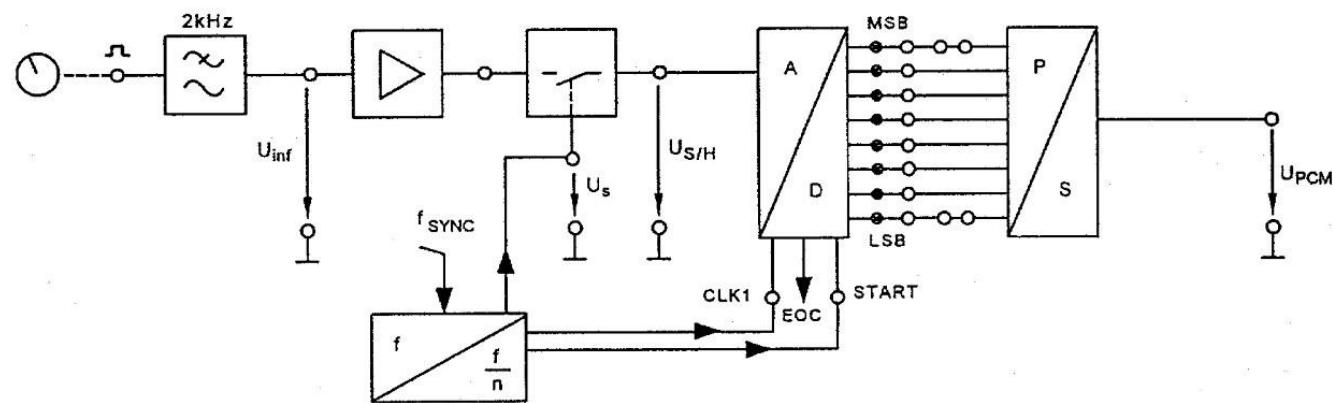


Abb. 7.2.3

Einstellwerte

$$U_{inf} \quad f = 2 \text{ kHz} \quad \hat{U} = 2,6 \text{ V}$$



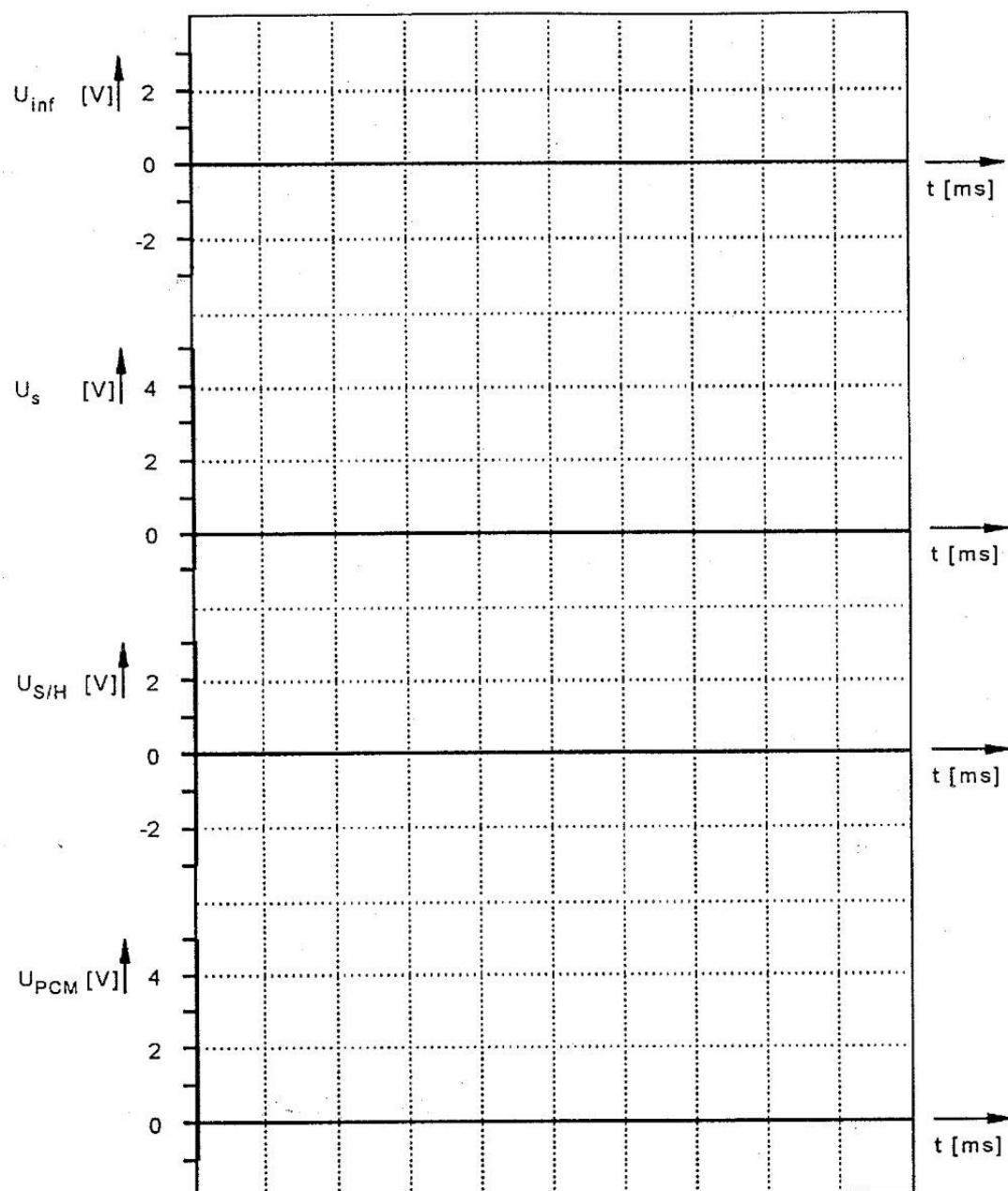


Abb. 7.2.4

- Fragen:
1. Mit welcher Abtastfrequenz wird das Informationssignal abgetastet?
 2. Stimmt das codierte PCM-Signal mit der Spannung $U_{S/H}$ zeitlich überein?
 3. In welcher Reihenfolge werden die Bits gesendet (zuerst MSB oder LSB)?

Antworten:

7.3 PCM-Multiplexbildung

Allgemeines

Die wichtigste Anwendung der PCM-Technik liegt darin, Übertragungsstrecken durch das Zeitmultiplexverfahren mehrfach zu nutzen. Dabei wird aus mehreren analogen Eingangssignalen ein digitales Ausgangssignal gebildet.

Beispiel: Das PCM-30-System

Dieses Grundsystem zur Übertragung von 30 Fernsprechkanälen ist in der CCITT-Empfehlung G.704 festgelegt und seit Jahrzehnten im Einsatz. Für jeden der 30 Kanäle steht ein Zeitabschnitt zur Verfügung, um ein 8-Bit-Codewort zu übertragen. Da nicht nur die Information der Fernsprechkanäle, sondern auch Information über die Synchronisation und vermittlungstechnische Kennzeichen zu übertragen sind, ist das System auf 32 Kanäle ausgelegt.

Ein „Pulsrahmen“ dauert 125 µs, da jeder einzelne Kanal mit 8 kHz abgetastet werden muß.

Jeder einzelne Kanal wird während der Zeitspanne 125 µs : 32 = 3,91 µs abgetastet.

In dieser Zeitspanne müssen 8 Bit übertragen werden. Somit ergibt sich für 1 Bit eine Dauer von $3,91 \mu s : 8 = 0,488 \mu s$. Die Bitrate für dieses System liegt also bei $\frac{1}{0,488 \mu s} = 2,048 \text{ Mbit/s}$.

Mit den folgenden Begriffen werden Besonderheiten des PCM-30-Systems bezeichnet.

Das **Rahmenerkennungswort** wird nur in jedem zweiten Pulsrahmen übertragen und dient zur zeitlichen Synchronisation des Empfängers.

Das **Meldewort** wird abwechselnd mit dem Rahmenerkennungswort gesendet und dient der Übertragung von Überwachungs- und Alarmsignalen.

Die **Kennzeicheninformation** wird zur Übertragung vermittlungstechnischer Kennzeichen benötigt. Da einem Sprechkanal 4 Bit zugeordnet sind, kann pro Pulsrahmen nur die Signalisierungsinformation von zwei Kanälen übertragen werden. Aus diesem Grund werden 16 Pulsrahmen zu einem Kennzeichen- oder Signalisierungsrahmen zusammengefaßt ($t = 125 \mu s \cdot 16 = 2 \text{ ms}$).

Mit dem MODULATION BOARD läßt sich eine PCM-Strecke zur Übertragung von 2 Kanälen realisieren. Dazu werden die Kanäle zunächst mit einem Multiplexer abgetastet. Dieses PAM-Signal wird nach der Quantisierung und Codierung mit einem Parallel-Seriell-Umsetzer in einen seriellen Datenstrom gewandelt. In diesen Datenstrom wird zur Empfängersynchronisation ein zusätzlicher Impuls, der sogenannte Synchronimpuls, eingeschleust.

Aufgabe

Messen Sie die in Abb. 7.3.2 und 7.3.3 geforderten Spannungen, und tragen Sie diese in die Diagramme ein. Wählen Sie den Zeitmaßstab sinnvoll, er ist für Abb. 7.3.2 und 7.3.3 unterschiedlich. Zeichnen Sie in das Diagramm $U_{PCM} = f(t)$ ein, welchem Kanal die Bitkombinationen zuzuordnen sind.

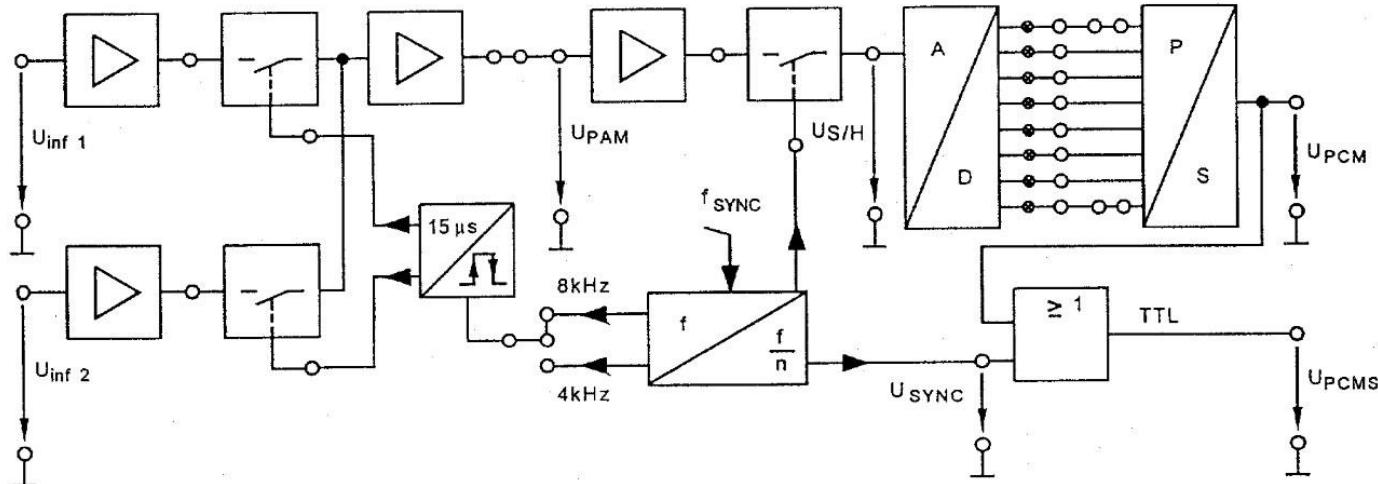


Abb. 7.3.1

Einstellwerte

$U_{inf 1}$	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 1,5 \text{ V}$
$U_{inf 2}$	DC	$U = 2,5 \text{ V}$

- Fragen:**
1. Welche Frequenz und welche Dauer hat der Synchronimpuls?
 2. Wie erkennt man, welches Bitwort von welchem Eingangskanal stammt?

Antworten:

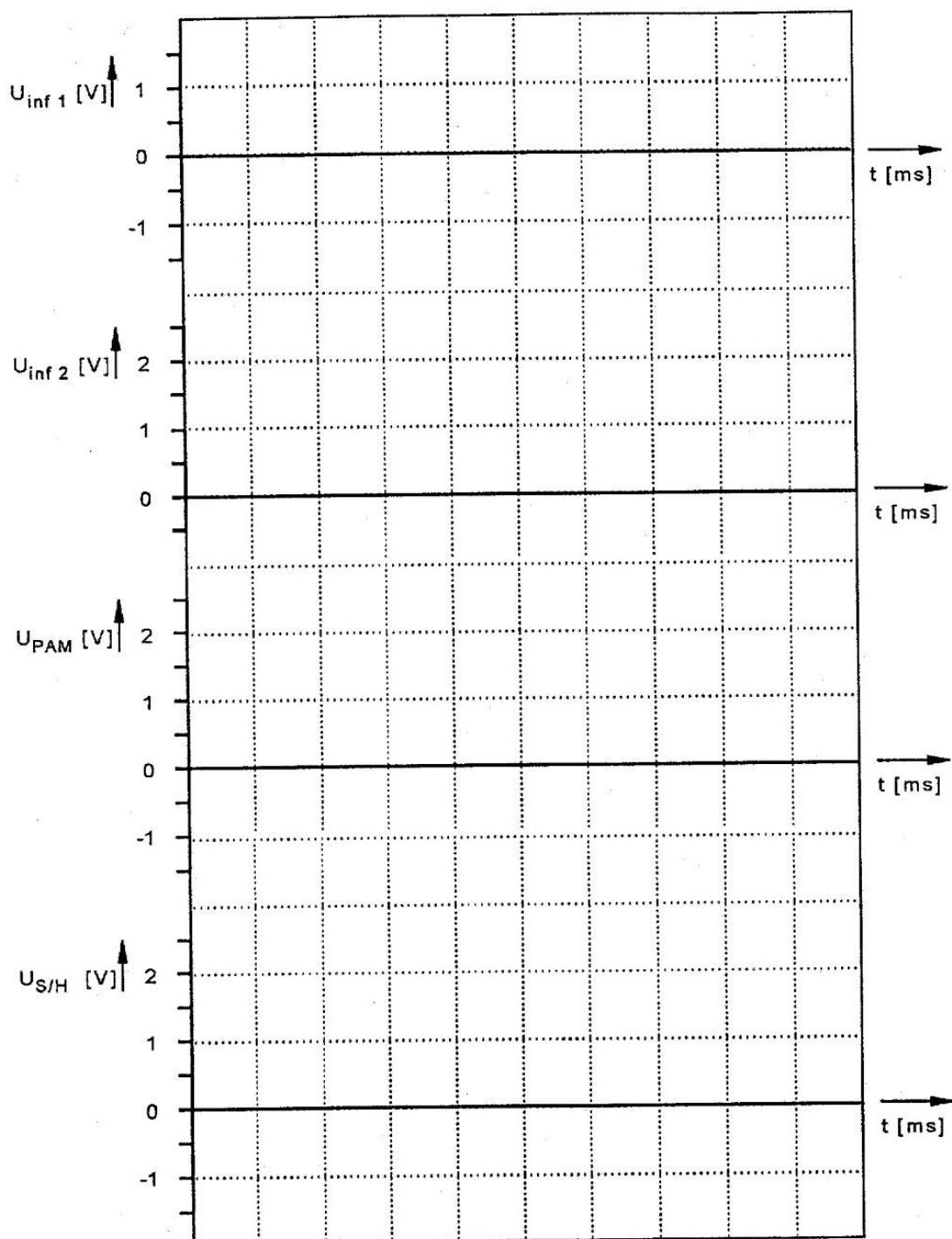


Abb. 7.3.2

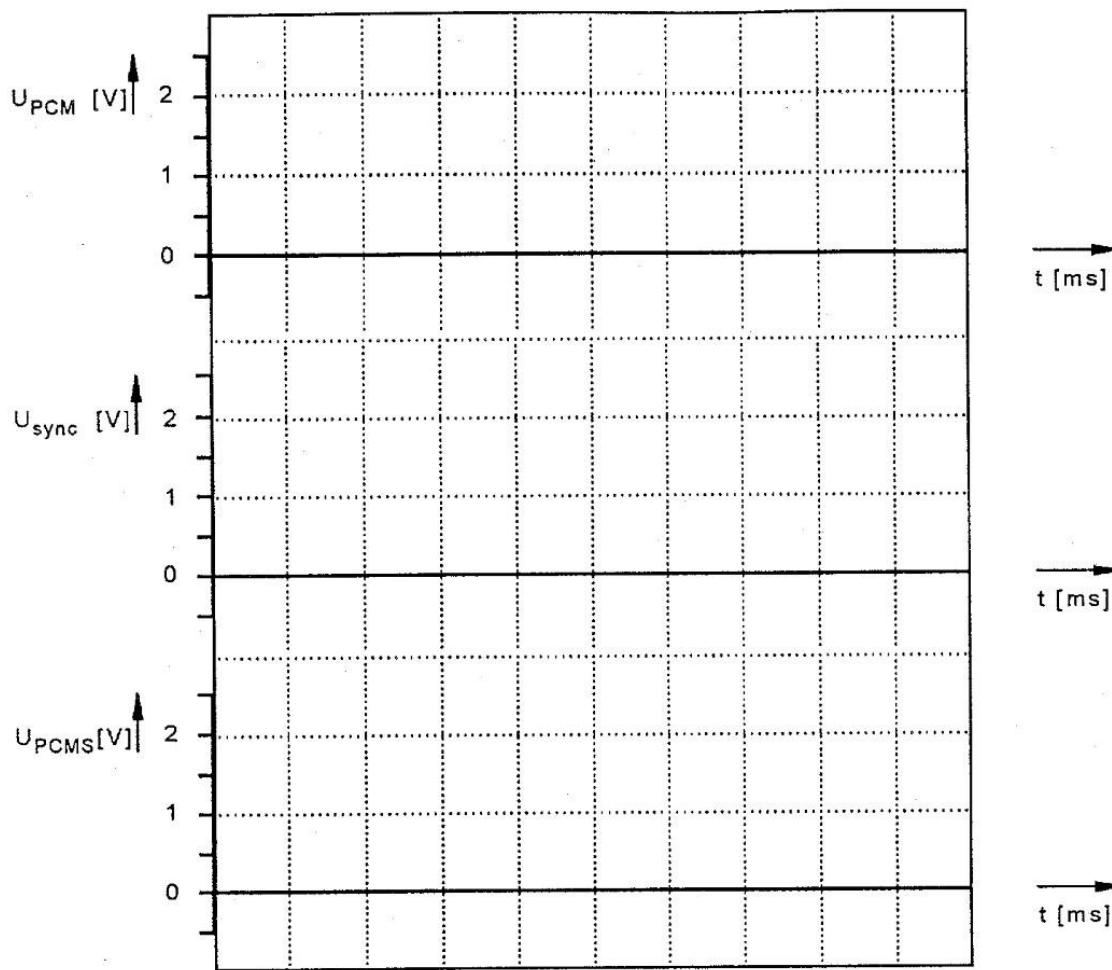


Abb. 7.3.3

Wiederholungsfragen zu Kapitel 7

Frage 1: Welche Vorteile hat die PCM-Technik gegenüber anderen Modulationsverfahren?

Antwort:

Frage 2: Mit welcher Frequenz muß eine Informationsfrequenz von 20 kHz abgetastet werden und welche Nachrichtenmenge muß pro Sekunde übertragen werden, wenn das Signal in 256 Stufen quantisiert und binär codiert wird?

Antwort:

Frage 3: Welche Zeit steht einem PCM-30-System zur Übertragung eines Kanals zur Verfügung?

Antwort:

8. Deltamodulation

8.1 Theoretische Einführung

Mit der Puls-Code-Modulation ist es gelungen, analoge Signale in digitaler Form zu übertragen. Diesen qualitativen Fortschritt erkauft man sich jedoch mit relativ hohem technischem Aufwand.

Die einfache Deltamodulation ist technisch leichter zu realisieren als die PCM, da sie einen 1-Bit-Code zur Übertragung verwendet (im Vergleich zur PCM mit 7- oder 8-Bit-Codes).

Während die Puls-Code-Modulation eine digitale Information über den aktuellen abgetasteten Signalwert überträgt, übermittelt die Deltamodulation nur die Differenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abtastwerten.

Anhand der Abb. 8.1.1 soll die Arbeitsweise eines Deltamodulators vereinfacht dargestellt werden.

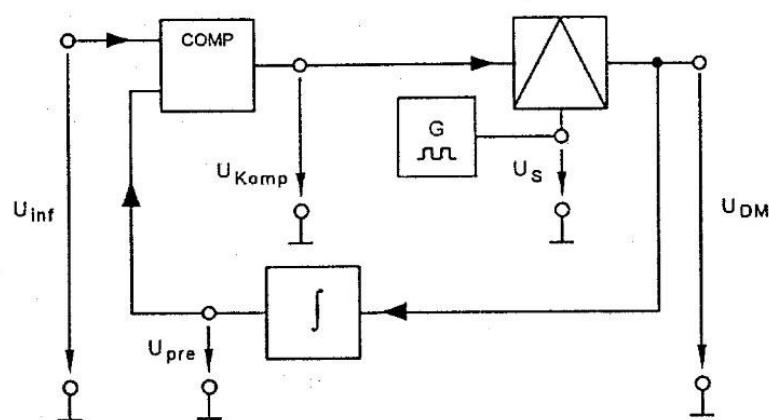


Abb. 8.1.1

Das Eingangssignal U_{inf} und das integrierte Signal U_{pre} werden in einem Komparator miteinander verglichen. Solange das Signal U_{pre} kleiner als die Eingangsspannung U_{inf} ist, wird der Komparator eine positive Spannung abgeben, wird die Spannung U_{pre} größer als U_{inf} , gibt dieser eine negative Spannung ab.

Da der nachfolgende Modulator im Schalterbetrieb arbeitet, erzeugt er positive oder negative Impulse, je nach Polarität seiner Eingangsspannung. Diese Impulse bilden das Ausgangssignal des Deltamodulators. Sie werden im Integrierer zum sogenannten Vorhersagewert (Prädiktion) gewandelt.

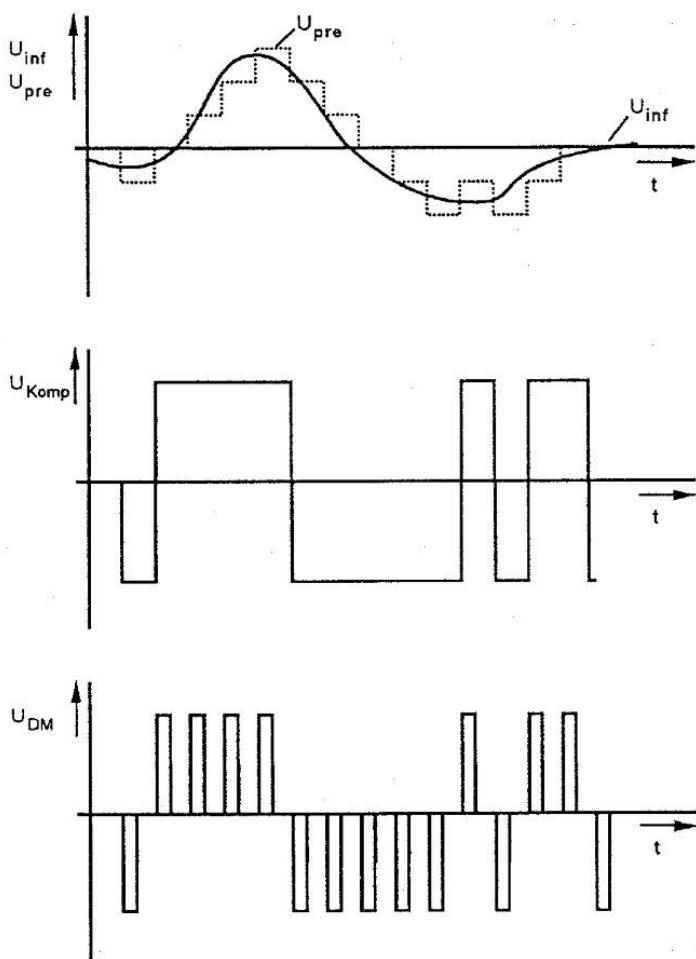


Abb. 8.1.2

Ein Problem der Deltamodulation ist die sogenannte Steigungsüberlastung (engl.: slope overload). Sie tritt ein, wenn die Ausgangsspannung des Integrierers der Eingangsspannung nicht folgen kann. Dabei kommt es zu einem für dieses Modulationsverfahren typischen Geräusch (overload noise). Die maximale Signalamplitude ist abhängig von

- der Abtastfrequenz
- der Frequenz der Informationsspannung
- der Größe der Spannungssprünge des Integrierers.

Die Abtastfrequenz f_s ist in diesem Falle identisch mit der Bittaktfrequenz. Sie muß bei dieser Codierung höher gewählt werden, als sie vom Abtasttheorem vorgeschrieben wird.

Die Deltamodulation wird hauptsächlich in der Sprachsignalübertragung angewandt. Eine höhere Übertragungsgüte erreicht man mit der adaptiven Deltamodulation, die eine variable Stufenhöhe benutzt.

8.2 Erzeugung deltamodulierter Signale (DM)

Allgemeines

Der im MODULATION BOARD verwendete Deltamodulator ist nach dem einfachen Blockschaltbild Abb. 8.1.1 realisiert.

Die Ausgangsspannungen des Komparators und des Integrierglieds entsprechen jedoch nicht denen des in Abb. 8.1.2 vorgegebenen Verlaufs.

Aufgabe

Messen Sie gleichzeitig die Informationsspannung und die deltamodulierte Ausgangsspannung, und tragen Sie die Signale in die Abb. 8.1.4 ein.

Versuchsaufbau und Durchführung

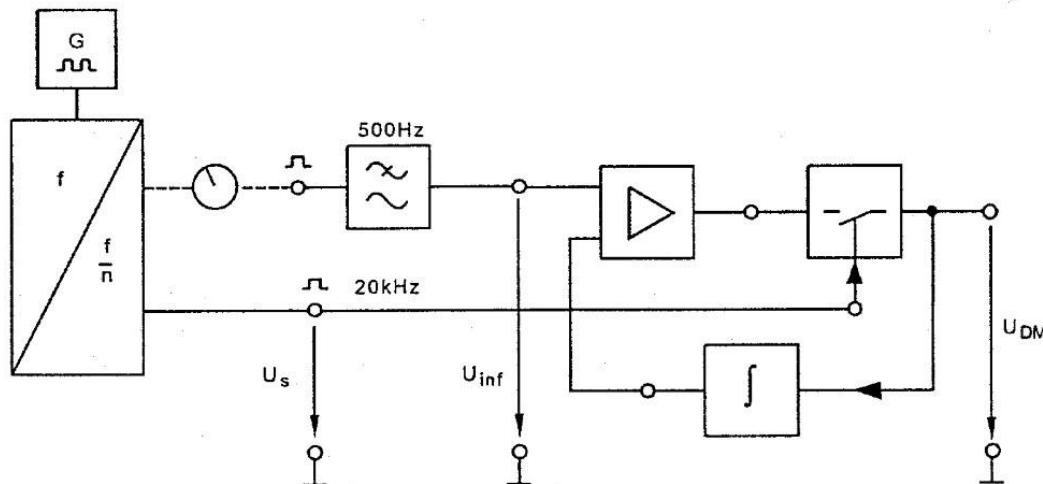


Abb. 8.1.3

Einstellwerte:

U_{inf}	$f = 500 \text{ Hz}$	$\hat{U} = 200 \text{ mV}$
U_s	$f = 20 \text{ kHz}$	TTL-Pegel

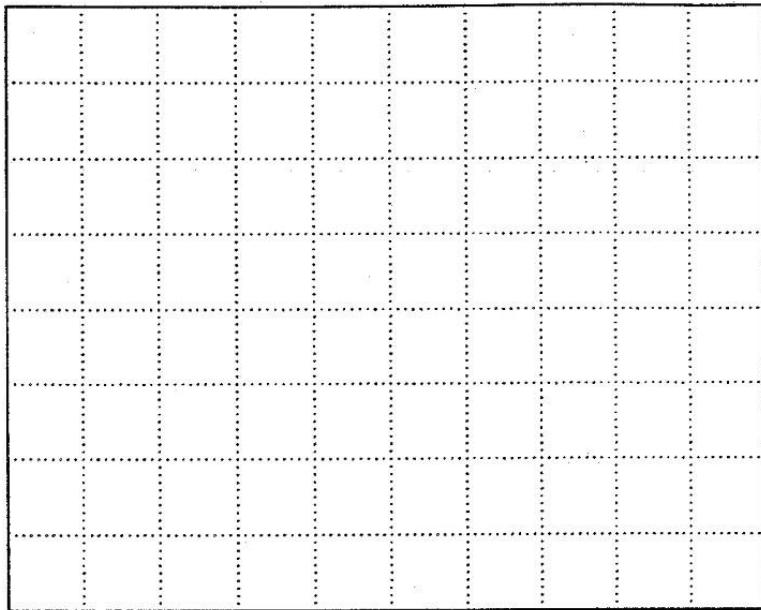


Abb. 8.1.4

- Fragen:
1. Wie reagiert der Modulator bei größeren Signalamplituden (z.B. $\hat{U} = 1 \text{ V}$)?
 2. Ist die Steigungsüberlastung signalfrequenzabhängig? Messen Sie die maximal codierbare Amplitude bei unterschiedlichen Informationsfrequenzen.
 3. Kann durch die Erhöhung der Abtastfrequenz die Steigungsüberlastung zu höheren Signalamplituden verschoben werden?

Antworten:

Wiederholungsfragen zu Kapitel 8

Frage 1: Was unterscheidet die Deltamodulation von der Puls-Code-Modulation?

Antwort:

Frage 2: Wo findet die einfache Deltamodulation Anwendung?

Antwort:

6. Pulsmodulationsverfahren – Demodulation

6.1 Theoretische Einführung

Die Pulsmodulationsverfahren unterteilen sich in:

- PAM Pulsamplitudenmodulation
- PPM Pulsphasenmodulation
- PDM Pulsdauermodulation
- PFM Pulsfrequenzmodulation

je nachdem, welcher Parameter verändert wird.

In diesem Kapitel beschäftigen wir uns mit der PAM, die vielfach als Zwischenstufe für andere Modulationsarten eingesetzt wird. Die Pulsfrequenzmodulation (PFM) wird im Kapitel 4.7 behandelt.

Prinzipiell kann mit einem Tiefpaß aus dem PAM-Signal die eigentliche Information wiedergewonnen werden. Voraussetzung ist ein Tiefpaß mit der Grenzfrequenz $f_g = f_{\text{inf max}}$ sowie das Einhalten des Abtasttheorems auf der Sendeseite. Betrachtet man jedoch das Frequenzspektrum einer PAM-Schwingung (siehe Abb. 6.1.1), so wird klar, daß durch eine einfache Demodulation mit einem Tiefpaß nur ein geringer Teil der tatsächlich übertragenen Leistung genutzt wird.

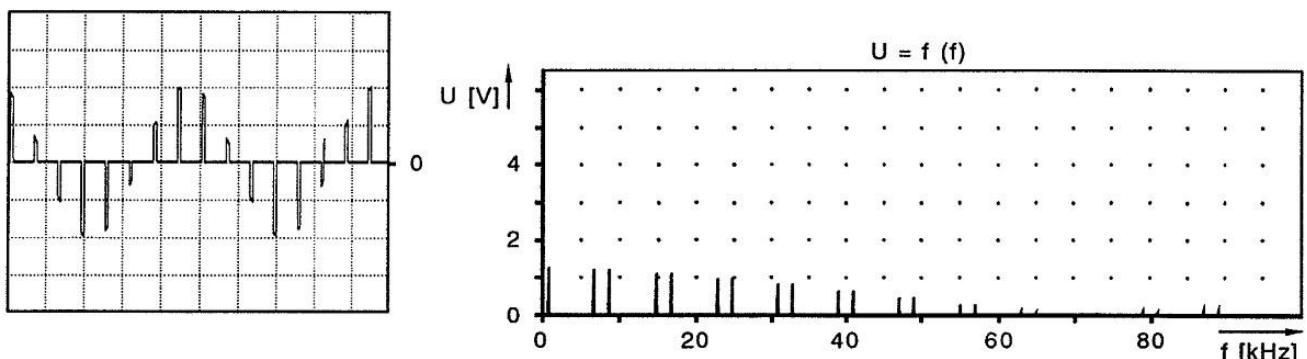


Abb. 6.1.1

Eine Verbesserung der Leistungsausbeute bringt die sogenannte Sample and Hold-Schaltung, die einen Kondensator während der kurzen Schließzeit des Schalters auf die momentane Impulsamplitude auflädt. Die Ladung, und somit die Spannung, wird nach dem Öffnen des Schalters bis zum nächsten Impuls gehalten. Voraussetzung dafür ist eine große Entladezeitkonstante. Diese ist nur durch einen hohen Widerstand des geöffneten Schalters sowie einen hohen Eingangswiderstand der darauffolgenden Schaltung möglich. Das Schließen des Schalters in der Sample and Hold-Schaltung muß synchron mit der Abtastung im Modulator erfolgen.



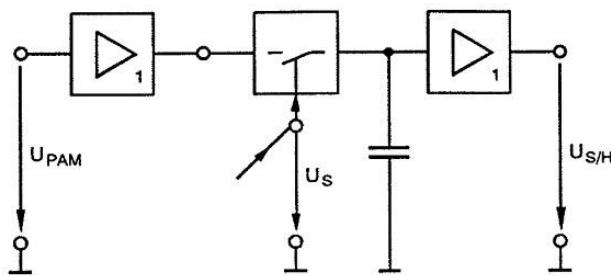


Abb. 6.1.2 prinzipielle Sample and Hold-Schaltung

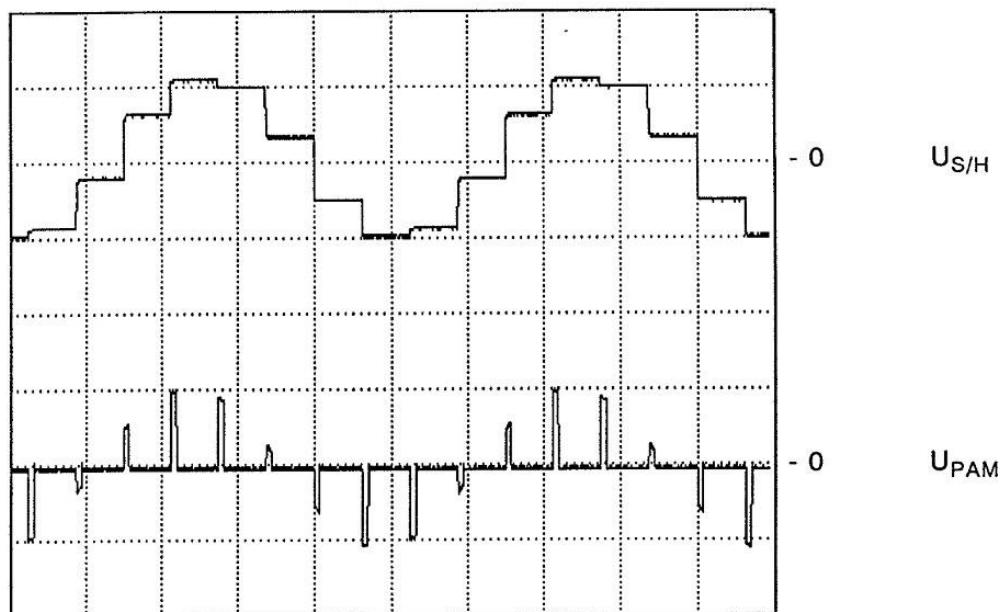


Abb. 6.1.3 prinzipieller Spannungsverlauf der obenstehenden Schaltung

6.2 Demodulation eines pulsamplitudenmodulierten Signals mit einem Tiefpaß

Allgemeines

Im folgenden soll die Demodulation pulsamplitudenmodulierter Signale mit Tiefpaß untersucht werden. Die demodulierten Ausgangssignale können dabei nicht nur meßtechnisch untersucht, sondern auch hörbar gemacht werden.

Aufgabe

Demodulieren Sie mit einem der beiden Tiefpässe der PAM-Demodulationsstufe und dem einzeln beschaltbaren Tiefpaß ein PAM-Signal. Messen Sie die in Abb. 6.2.1 geforderten Spannungen und Frequenzspektren bei unterschiedlichen Abtastfrequenzen.

Versuchsaufbau und Durchführung

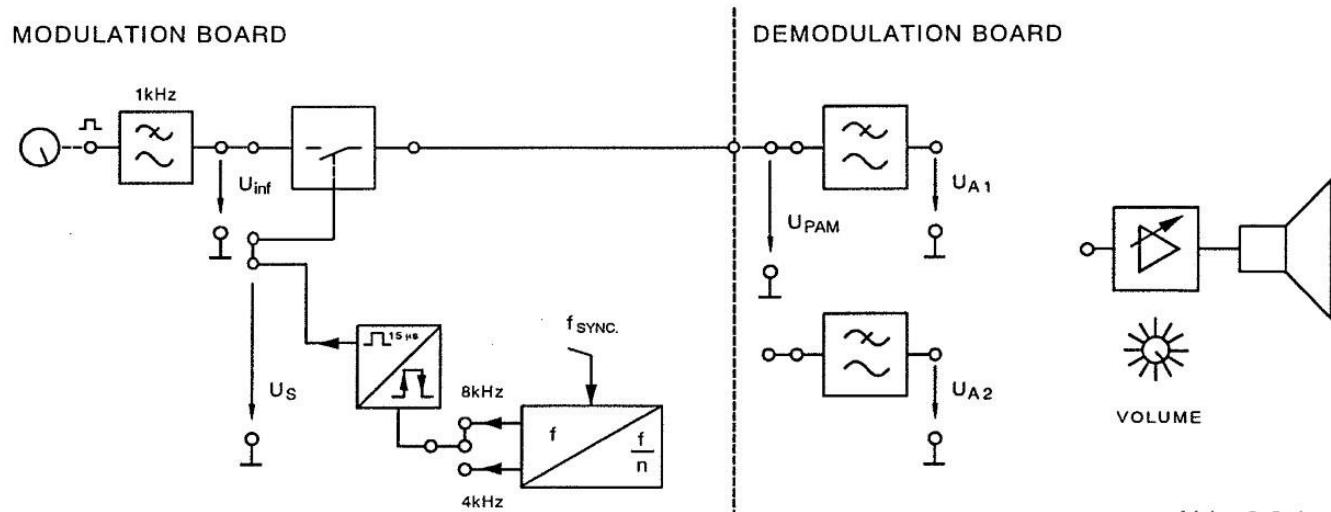


Abb. 6.2.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

U_{inf}	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 1,5 \text{ V}$
U_s	$f = 8 \text{ kHz}$	TTL-Pegel
U_s	$f = 4 \text{ kHz}$	TTL-Pegel

Das Schaltsignal steht mit einer Impulsdauer von ca. $15 \mu\text{s}$ am Schalteingang des eigentlichen PAM-Modulators mit TTL-Pegel zur Verfügung.

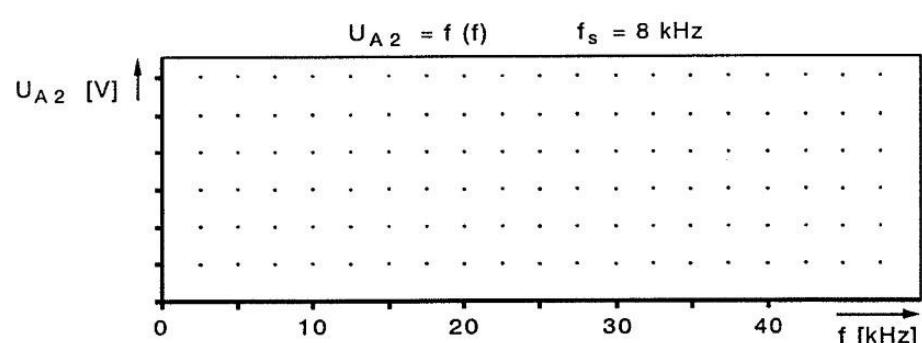
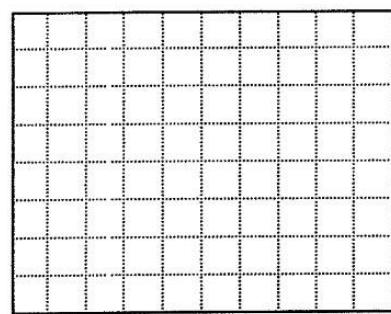
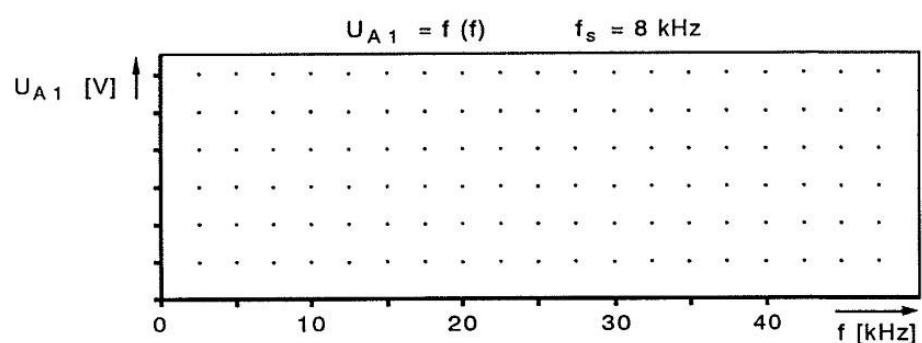
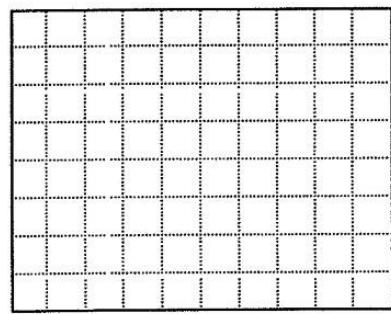
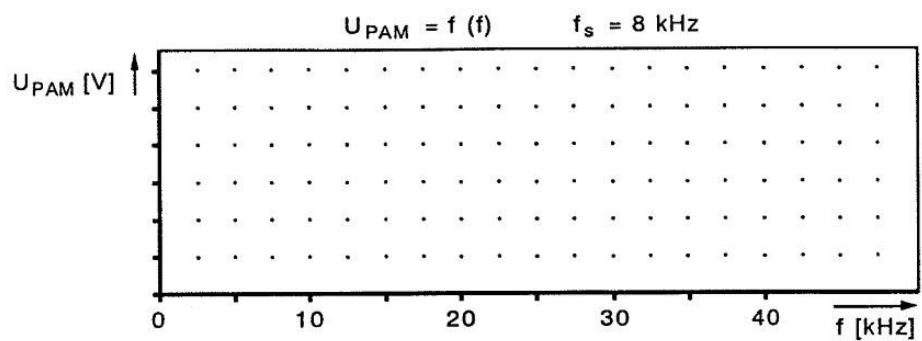
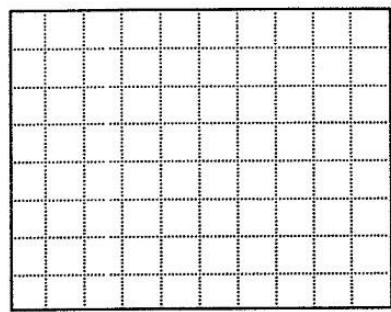


Abb. 6.2.2

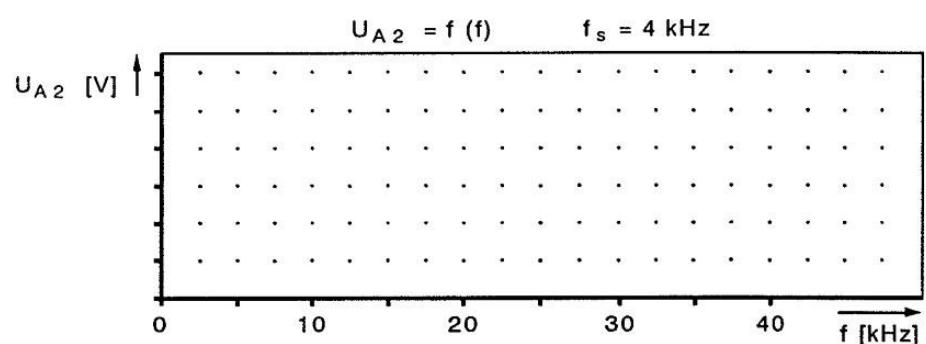
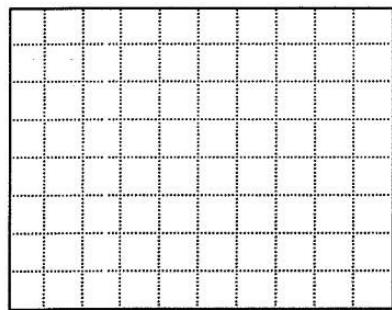
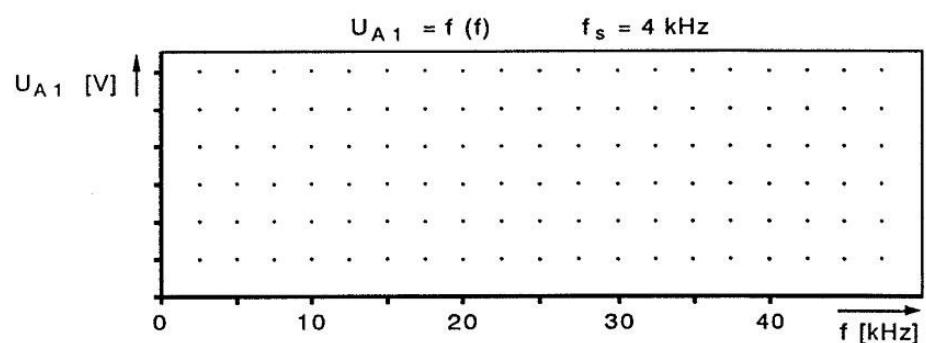
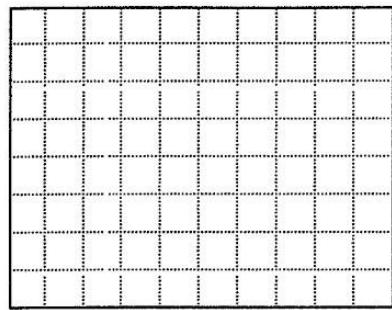
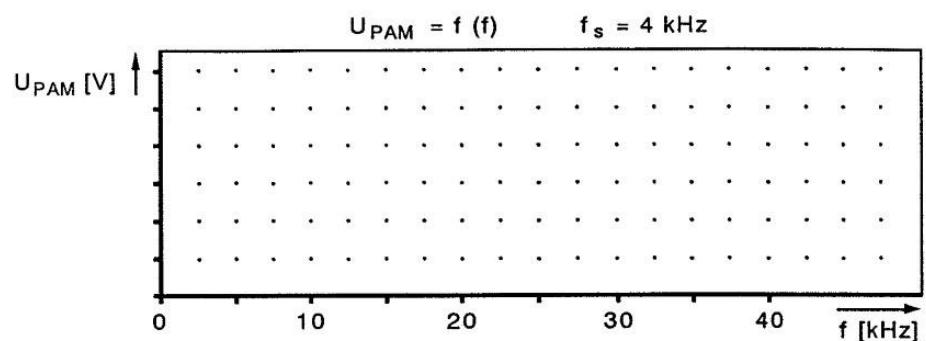
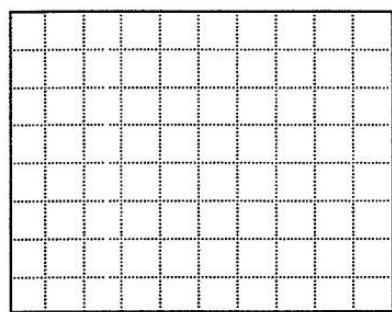


Abb. 6.2.3

Frage 1: Welcher Unterschied lässt sich bei den Ausgangsspannungen der beiden Filter feststellen?

Antwort:

Frage 2: Welche Frequenzen sind am Ausgang hörbar, wenn ein sinusförmiges Signal mit $f_{inf} = 1 \text{ kHz}$ mit einer Frequenz $f_s = 4 \text{ kHz}$ abgetastet wird?

Antwort:

Frage 3: Was ist am Ausgang hörbar, wenn aus einer bipolaren PAM ($f_{inf} = 1 \text{ kHz}$; $f_s = 4 \text{ kHz}$) durch Addieren einer Gleichspannung vor der Modulation eine unipolare gemacht wird?

Antwort:

Frage 4: Wie wirkt sich eine Veränderung der Breite des Abtastimpulses auf die Ausgangsspannung aus? (Verwenden Sie zur Untersuchung 4-kHz- und 8-kHz-Rechtecksignale.)

Antwort:

Frage 5: Bei welcher Abtastfrequenz lässt sich ein eingespeistes Sprachsignal (U_{int}) gerade noch verstehen? Um dies festzustellen, können Sie mit festen Abtastfrequenzen arbeiten, oder Sie verwenden die folgende Schaltung, um eine variable Abtastfrequenz zu erzeugen. Diese kann mit Hilfe der Gleichspannung (U_{DC}) verändert werden.

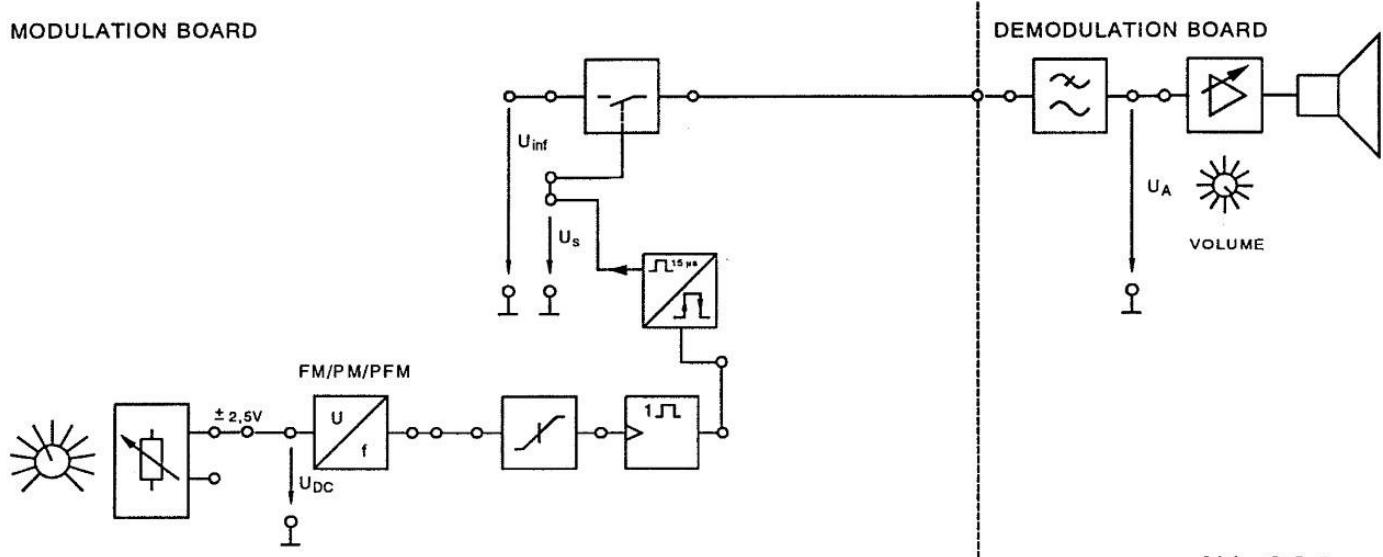


Abb. 6.2.4

Antwort:

6.3 Demodulation eines PAM-Signals mit Sample and Hold-Stufe und Tiefpaß

Allgemeines

Wird ein Tiefpaß zur Demodulation eines PAM-Signals eingesetzt, so wird nur ein geringer Teil der in den Spektralkomponenten des Trägers und deren Seitenschwingungen vorhandenen Energie genutzt.

Abhilfe bringt dabei die sogenannte Sample and Hold-Stufe. Sie wird eingesetzt, um eine treppenförmige Ausgangsspannung zu erhalten, in deren Frequenzspektrum die Amplitude der Informationsfrequenz wesentlich größer ist.

Die Sample and Hold-Stufe ist auf dem DEMODULATION BOARD als Schaltersymbol dargestellt. Die folgende Abb. 6.3.1 zeigt auch den technischen Aufbau der Schaltung.

Symbol

Beschaltung

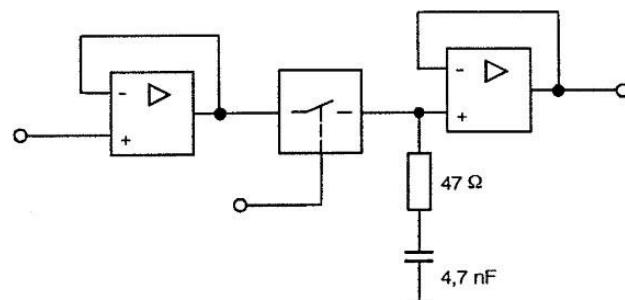
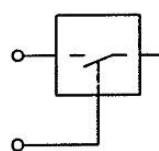


Abb. 6.3.1

Aufgabe

Demodulieren Sie ein pulsamplitudenmoduliertes Signal, und messen Sie die geforderten Spannungen.

Versuchsaufbau und Durchführung

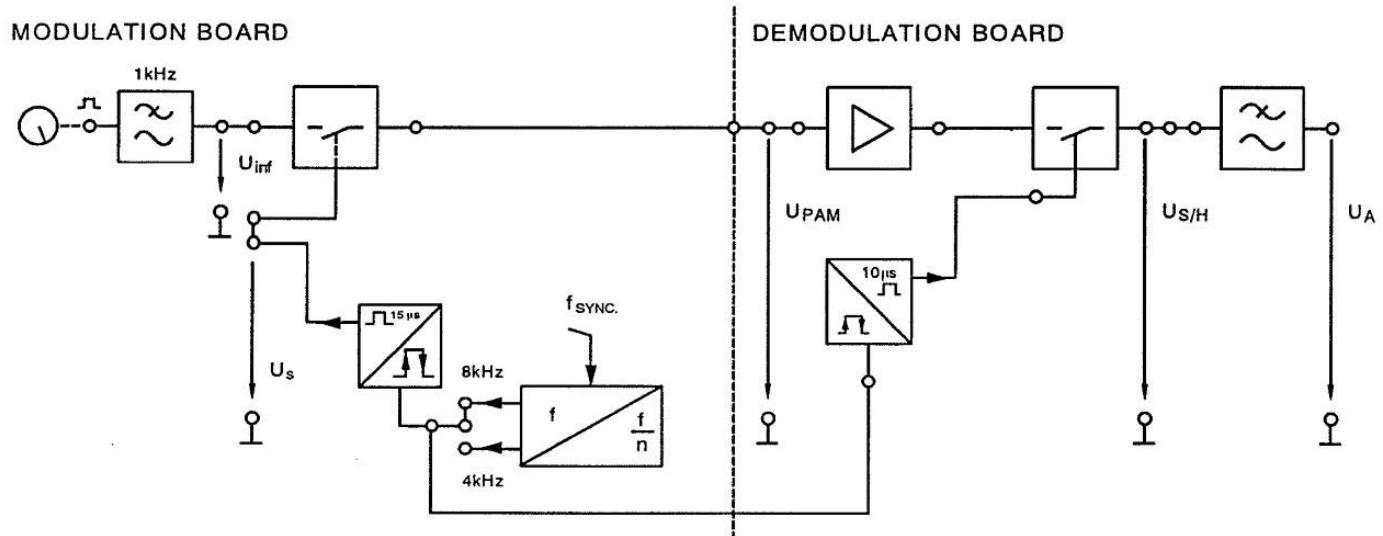


Abb. 6.3.2

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

U_{inf}	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 1 \text{ V}$
U_s	$f = 8 \text{ kHz}$	TTL-Pegel

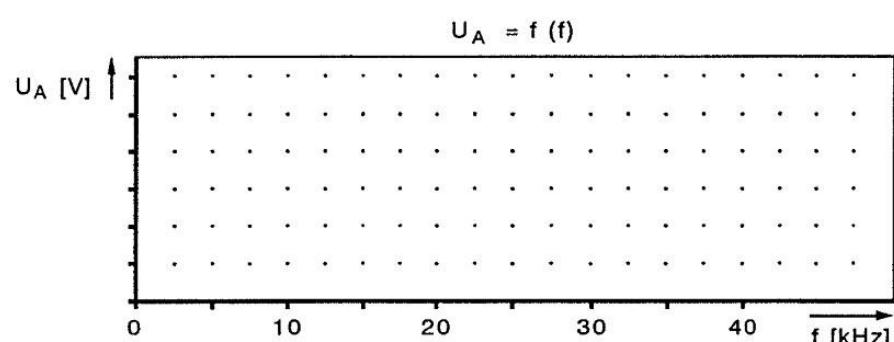
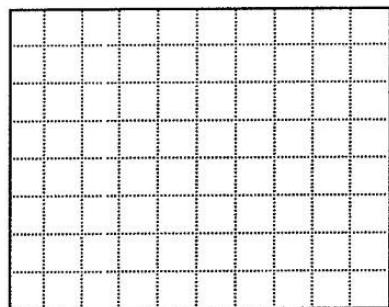
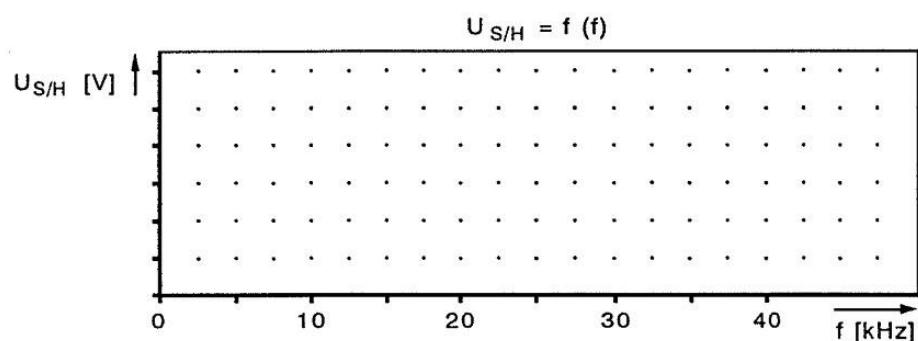
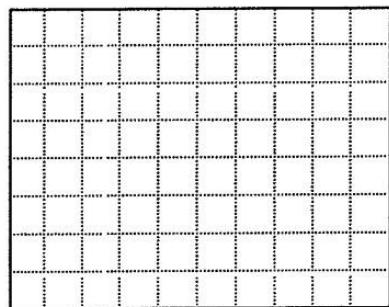
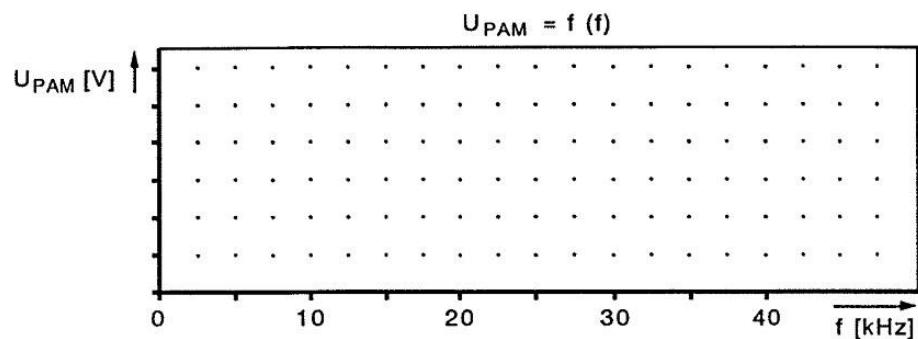
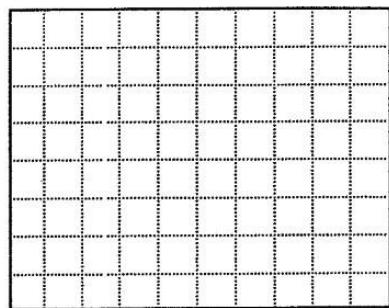


Abb. 6.3.3

Frage: Wie unterscheidet sich die Demodulation mit Sample and Hold-Schaltung von einer Tiefpaßdemodulation?

Antwort:

6.4 Zeitmultiplexverfahren

Allgemeines

Um mehrere Signale pulsamplitudenmoduliert mittels einer Übertragungsleitung zu übertragen, müssen die Eingangssignale mit dem Pulsträger abgetastet werden. Die Abtastung der einzelnen Kanäle muß hierfür zeitlich versetzt erfolgen. Um in einem Empfänger die im PAM-Signal zeitlich ineinander geschalteten Kanäle wieder trennen zu können, muß das PAM-Signal einem Demultiplexer zugeführt werden.

Dieser Demultiplexer muß synchron mit dem sendeseitigen Multiplexer die einzelnen Kanäle durchschalten. Als einfach zu überblickendes Zeitmultiplexverfahren bietet sich das PAM-Zeitmultiplexverfahren an.

Der Stereo-Rundfunk stellt die Sonderform eines Zeitmultiplexverfahrens dar. Aus dem sogenannten Stereomultiplexsignal lassen sich dabei, z. B. mit einem Schalterdecoder, die beiden Signale für den linken und den rechten Kanal durch zeitweises Umschalten mit einem 38-kHz-Schaltsignal wiedergewinnen. (Näheres hierzu siehe Kap. 6.5.)

Aufgabe

Erzeugen Sie ein 2-Kanal-PAM-Zeitmultiplexsignal, und demodulieren Sie dieses mit dem Zeitdemultiplexer, den anschließenden Sample and Hold-Stufen und den Tiefpassen. Messen Sie die geforderten Signale, und erklären Sie die Funktionsweise des Demultiplexers.

Versuchsaufbau und Durchführung

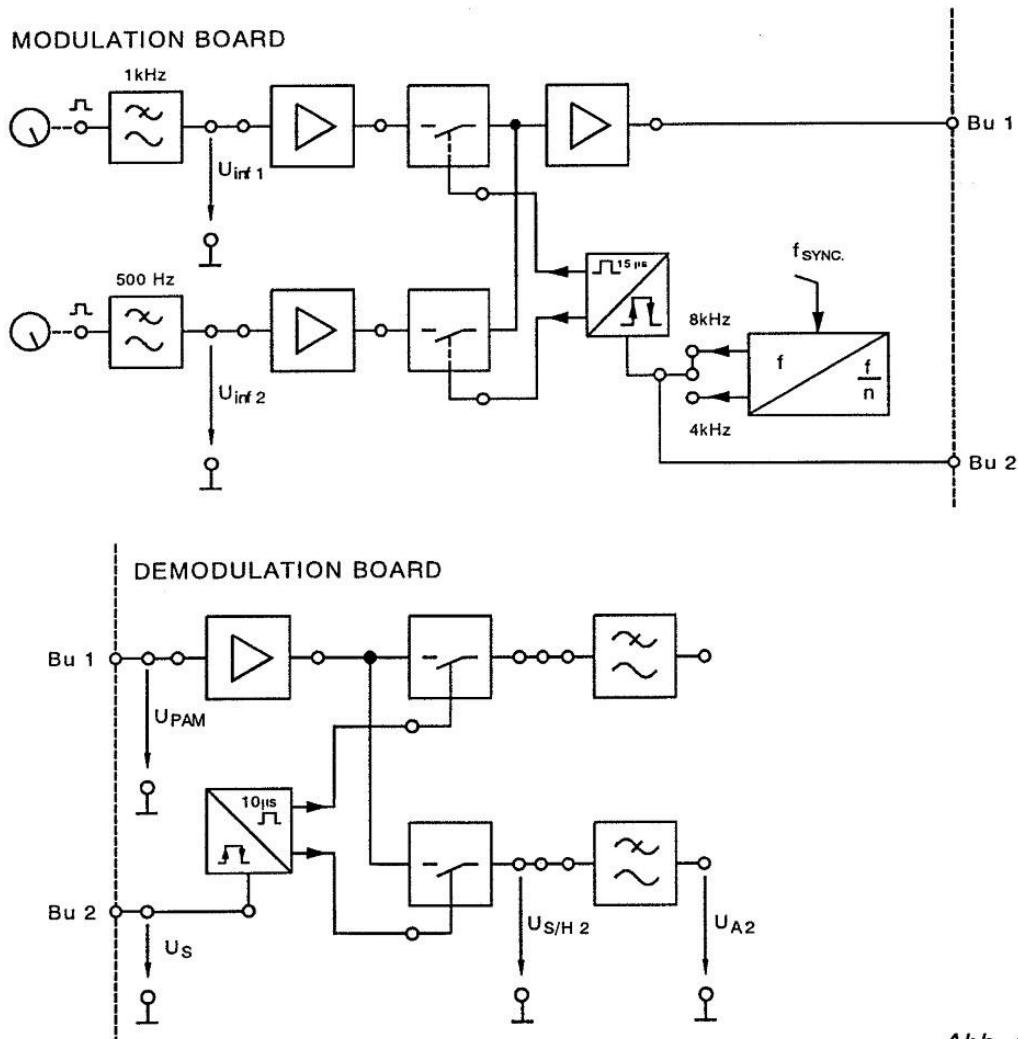


Abb. 6.4.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

$U_{inf\ 1}$	$f = 1\ kHz$	$\hat{U} = 1,5\ V$
$U_{inf\ 2}$	$f = 500\ Hz$	$\hat{U} = 1\ V$
U_s	$f = 8\ kHz$	TTL-Pegel

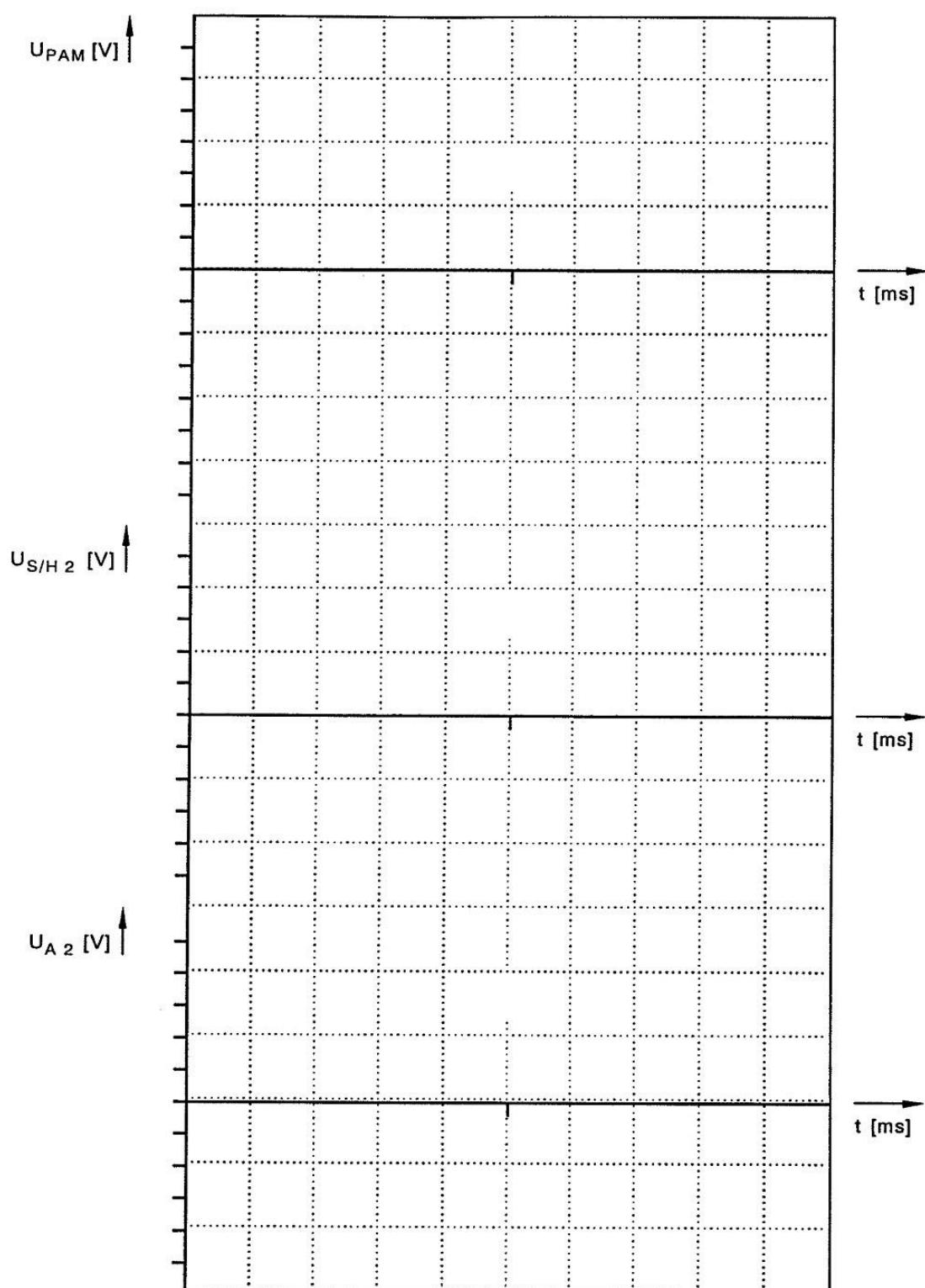


Abb. 6.4.2

Frage: Ist ein Schalten des Demultiplexers mit anderer Frequenz möglich?

Antwort:



6.5 Demodulation eines Stereosignals mit einem Schalterdecoder

Allgemeines

Das Stereosignal kann als Sonderfall pulsamplitudenmodulierter Signale dargestellt werden.

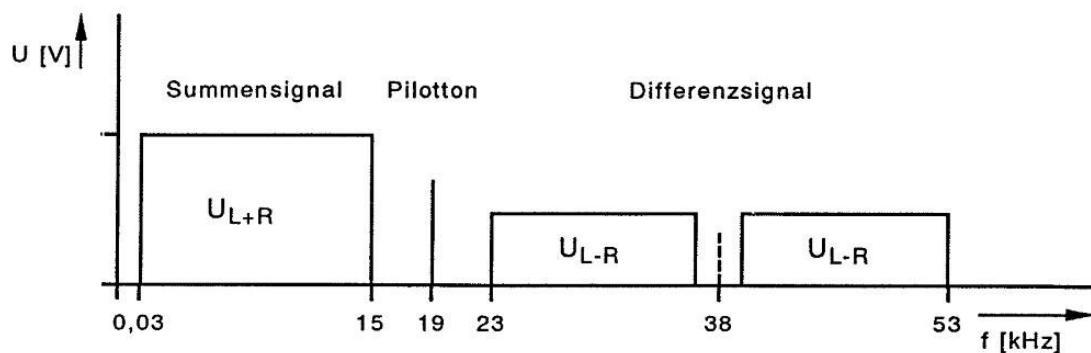


Abb. 6.5.1 Aufbau des Stereomultiplexsignals

Das Summensignal entsteht, wenn die Signale beider Kanäle addiert werden (U_{L+R}). Dieses Signal kann ein Mono-Empfänger verarbeiten und hörbar machen. Um im Empfänger wieder die beiden Spannungen U_L und U_R zurückzugewinnen, ist ein weiteres Signal, das Differenzsignal, nötig. Dieses entsteht durch Invertierung der Spannung U_R und Addition mit der Spannung U_L . Dieses Differenzsignal oder Stereo-Zusatzsignal wird mit einem Träger von 38 kHz amplitudengemoduliert. Dieser Träger wird unterdrückt. Anstelle des 38-kHz-Trägers wird der sogenannte Pilotton (19 kHz) übertragen. Die Verwendung von Schalterdecodern ist wegen ihrer Einfachheit sehr beliebt. In nur einem Baustein wird dabei die komplette Synchronisation und das eigentliche Decodieren realisiert.

Aufgabe

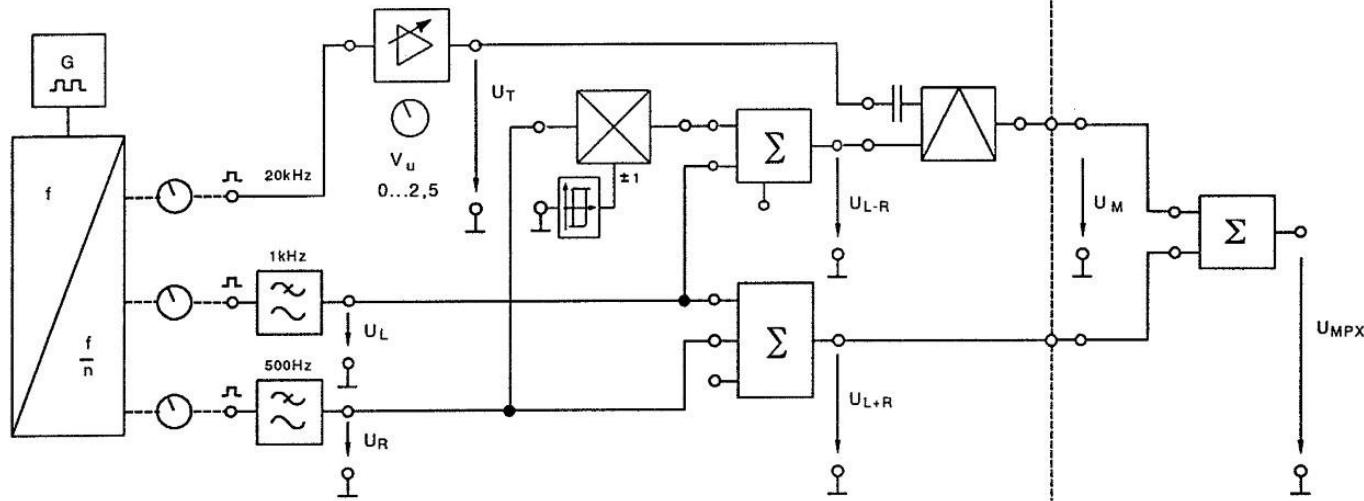
Erzeugen Sie mit dem MODULATION BOARD und dem DEMODULATION BOARD eine dem Stereomultiplexsignal ähnliche Spannung gemäß dem folgenden Versuchsaufbau, und messen Sie die in Abb. 6.5.4 angegebenen Spannungen.

Die Unterschiede zum realen Stereomultiplexsignal sind:

- 1. Die Trägerfrequenz ist hier 20 kHz und nicht 38 kHz.
- 2. Die Trägerfrequenz ist nicht sinusförmig, sondern rechteckförmig.
- 3. Es wird kein Pilotton mitgesendet.

Versuchsaufbau und Durchführung

MODULATION BOARD



Einstellwerte am MODULATION BOARD:

U_T	$f = 20 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 7 \text{ V}$
U_L	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 1 \text{ V}$
U_R	$f = 500 \text{ Hz}$	$\hat{U} = 0,5 \text{ V}$

Abb. 6.5.2

Durch Verändern der Amplitude der Spannung U_T ist die Ausgangsspannung U_{MPX} so einzustellen, daß in den umhüllenden Linien des Stereomultiplexsignals die beiden ursprünglichen Signale (500 Hz, 1 kHz) deutlich erkennbar werden.

Soll zur Bildung des Stereomultiplexsignals nur das MODULATION BOARD eingesetzt werden, ist dies mit untenstehender Schaltung möglich.

(Allerdings kann hier die Spannung U_{L+R} nicht gleichzeitig mit der Spannung U_{MPX} gemessen werden.)

MODULATION BOARD

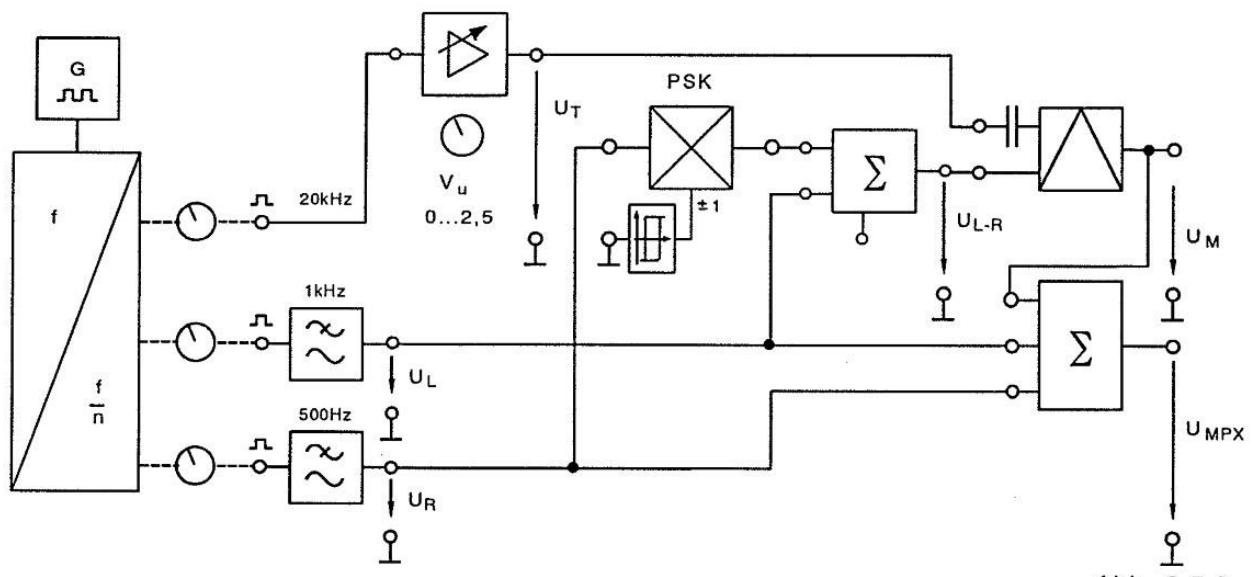


Abb. 6.5.3



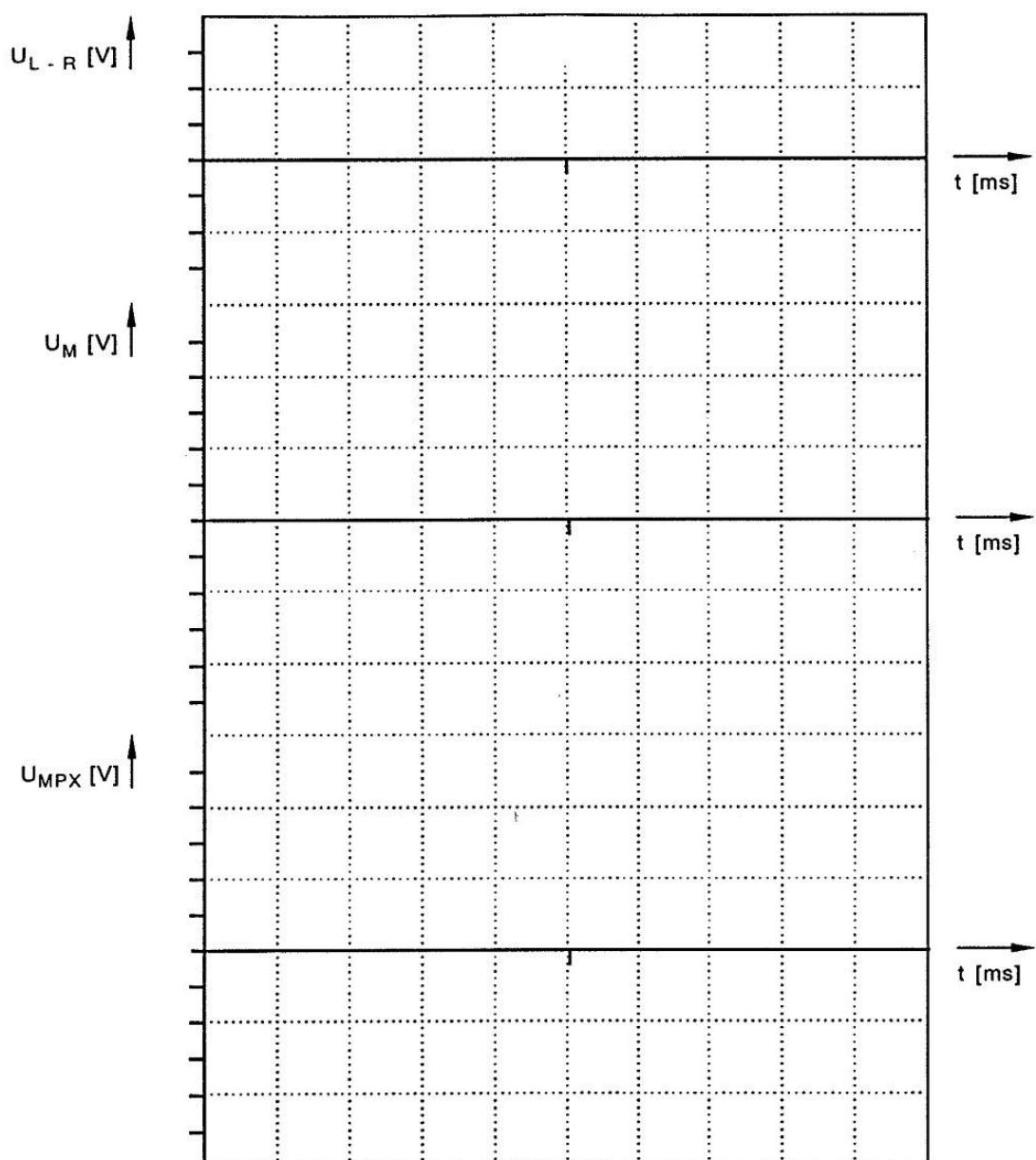


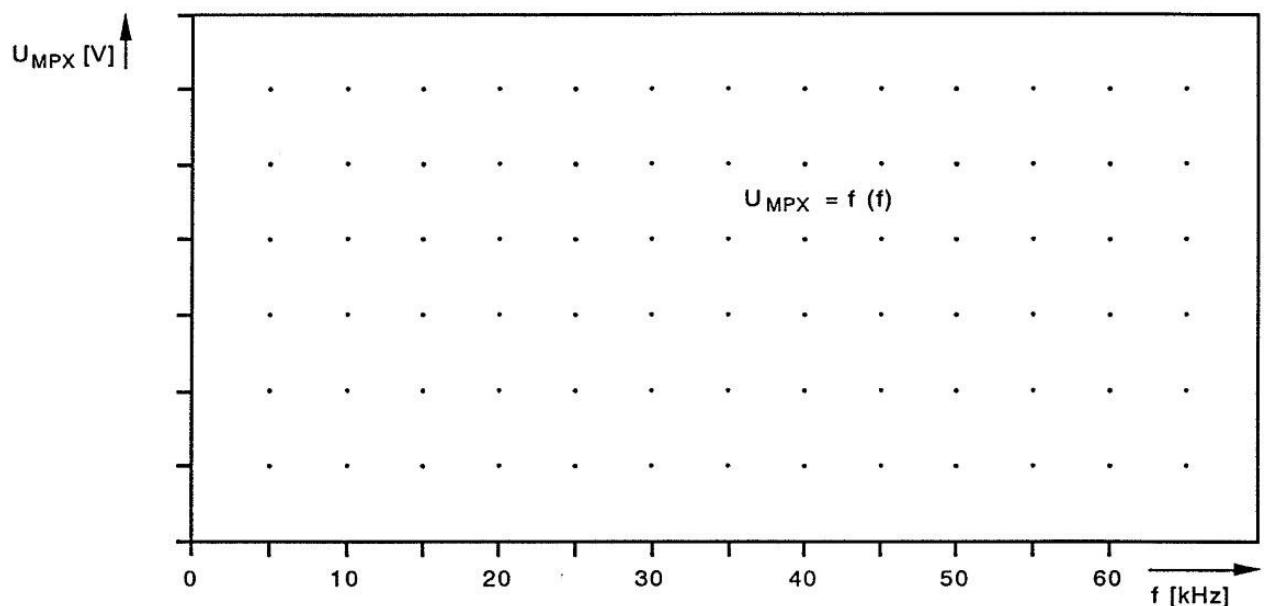
Abb. 6.5.4

Frage 1: Weshalb kann das Stereomultiplexsignal als Zeitmultiplexsignal betrachtet werden?

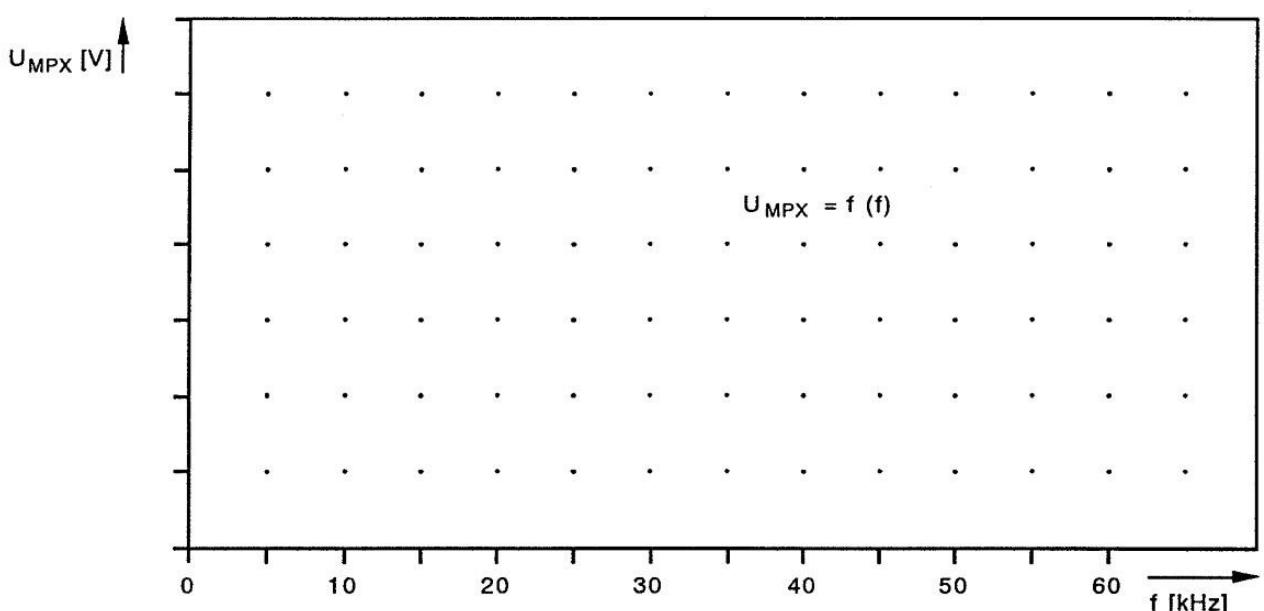
Antwort:

Frage 2: Welche Veränderungen ergeben sich bei Verwendung eines sinusförmigen Trägers anstelle des rechteckförmigen?

$U_T = \text{sinusförmig}$



$U_T = \text{rechteckförmig}$



Antwort:

Aufgabe

Da das Stereomultiplexsignal ein Zeitmultiplexsignal darstellt, kann es auch auf einfache Weise erzeugt werden. Bauen Sie einen Modulator auf wie in Abb. 6.5.5 gezeichnet, und vergleichen Sie die Spannung U_{MPX} mit der Ausgangsspannung der vorigen Schaltung.

Versuchsaufbau und Durchführung

MODULATION BOARD

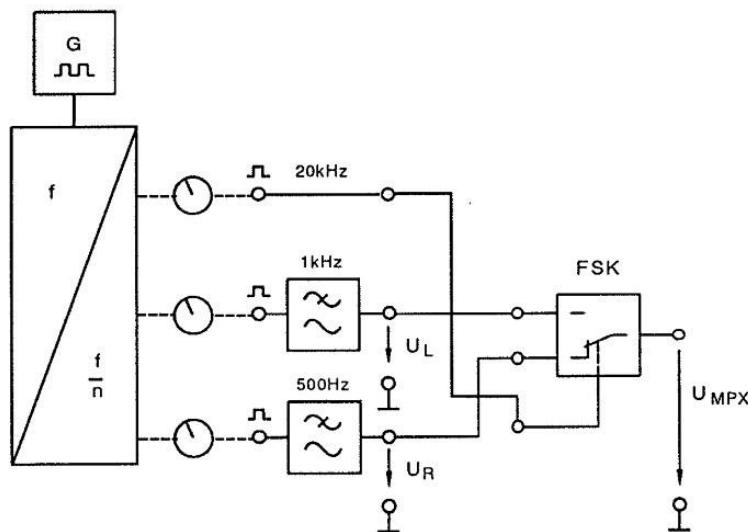


Abb. 6.5.5

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

U_T	$f = 20 \text{ kHz}$	TTL-Pegel
U_L	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 1 \text{ V}$
U_R	$f = 500 \text{ Hz}$	$\hat{U} = 0,5 \text{ V}$

Aufgabe

Bauen Sie zunächst einen Modulator auf, der ein dem Stereomultiplexsignal ähnliches Signal erzeugt. Erklären Sie den Aufbau auf dem MODULATION BOARD, und entwerfen Sie eine einfache Schaltung, mit der zum einen das Summensignal, zum anderen die beiden Kanäle getrennt aus dem Multiplexsignal gewonnen werden können.

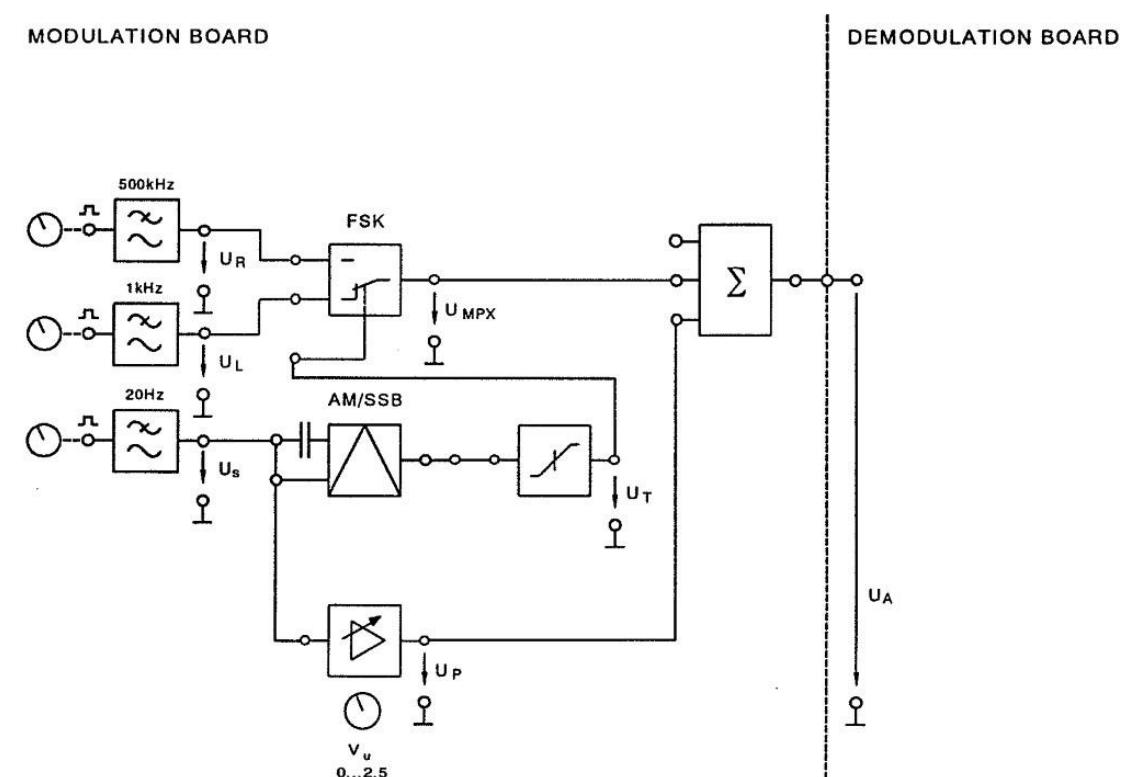


Abb. 6.5.6

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

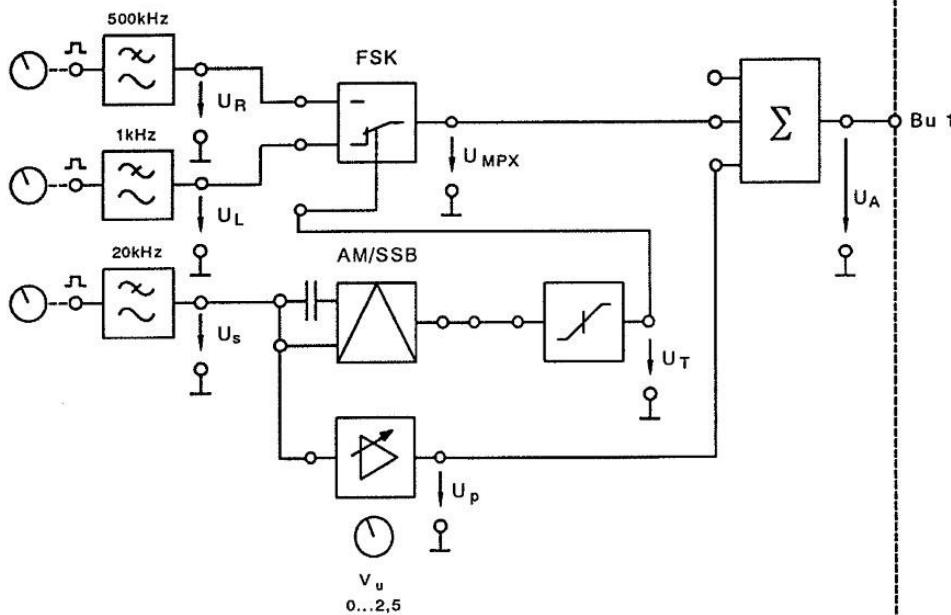
U_s	$f = 20 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 2,5 \text{ V}$
U_L	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 0 \dots 1,5 \text{ V}$
U_R	$f = 500 \text{ Hz}$	$\hat{U} = 0 \dots 1,5 \text{ V}$
U_P	$f = 20 \text{ kHz}$	$\hat{U} = 0 \dots 8 \text{ V}$

Aufgabe

Demodulieren Sie mit der Schaltung Abb. 6.5.7 ein Stereomultiplexsignal, und erklären Sie die Funktionsweise der Schaltung.

Versuchsaufbau und Durchführung

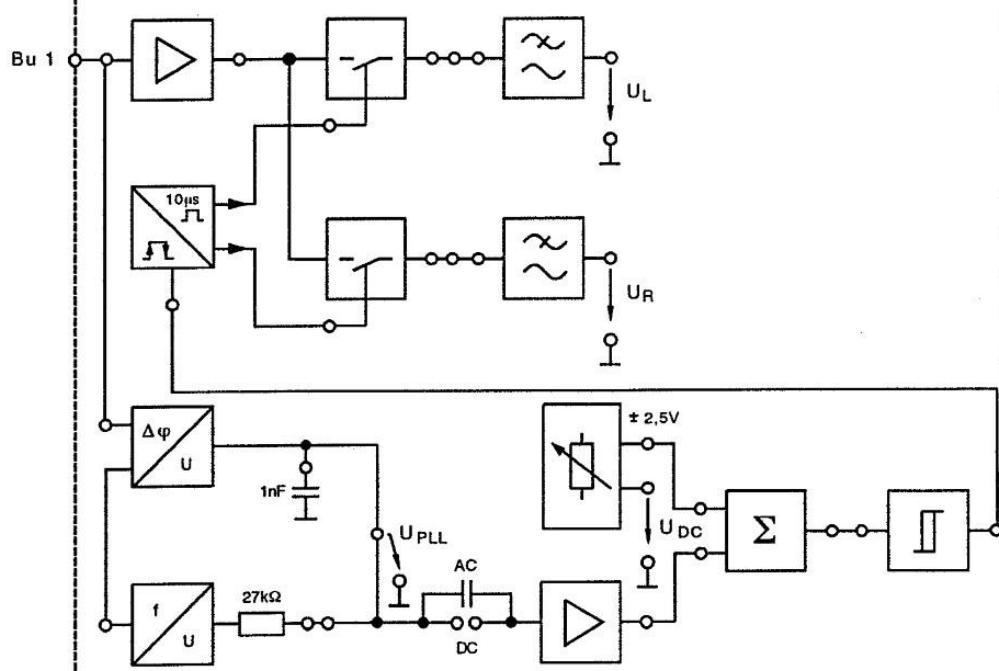
MODULATION BOARD



Einstellwerte am
MODULATION BOARD:

U_s	$f = 20 \text{ kHz}$	$\hat{u} = 2,5 \text{ V}$
U_p	$f = 20 \text{ kHz}$	$\hat{u} = 3 \text{ V}$
U_L	$f = 1 \text{ kHz}$	$\hat{u} = 1 \text{ V}$
U_R	$f = 500 \text{ Hz}$	$\hat{u} = 0,5 \text{ V}$

DEMODULATION BOARD



Einstellwerte am
DEMODULATION BOARD:

Mit der Gleichspannung (U_{DC}) wird der Schaltpunkt am Schmitt-Trigger so eingestellt, daß eine möglichst gute Kanaltrennung der Spannungen U_L und U_R erreicht wird.

Abb. 6.5.7

7. Pulscodemodulation – Demodulation

7.1 Theoretische Einführung

Mit der Pulscodemodulation werden analoge Signale wie Musik- oder Sprachsignale, Bildinformationen oder analoge Meßwerte digital übertragen. Schon lange wird die Pulscodemodulation zur Übertragung in Fernsprechnetzen eingesetzt.

Die wesentlichen Merkmale der Pulscodemodulation sind:

- Bandbegrenzung des Eingangssignals mit einem Tiefpaßfilter.
- Abtastung des analogen Eingangssignals.
Da Quantisierung und Codierung nicht unendlich schnell sind, ist es sinnvoll, die Amplitude des Abtastwertes bis zum Eintreffen der nächsten Probe konstant zu halten. Dies wird erreicht durch die Erweiterung der Abtastschaltung zur Abtast- und Haltestufe (englisch: sample and hold).
- Das treppenförmige Signal wird quantisiert und in binäre Codeworte umgewandelt.
- Die Übertragung des PCM-Signals erfolgt seriell. Zusätzlich muß in gewissen Abständen ein Signal zur Synchronisation des Decoders übertragen werden.
- In einem Decodierer (Digital/Analog-Wandler) werden die empfangenen Digitalsignale in eine treppenförmige Analogspannung gewandelt. Auch hier wird wieder eine Abtast- und Halteschaltung eingesetzt.
- Durch Tiefpaßfilterung wird das Signal zurückgewonnen

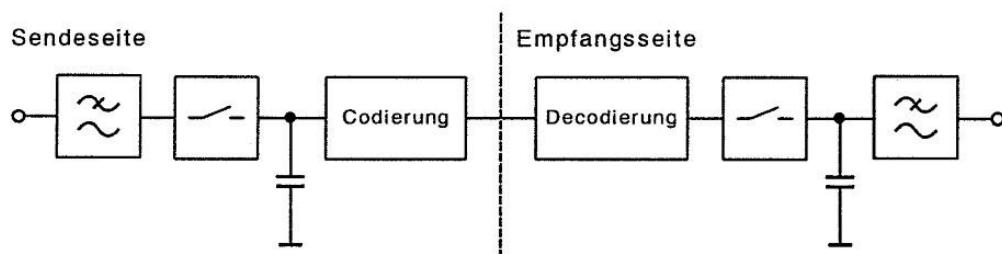


Abb. 7.1.1

Die Pulscodemodulation wird hauptsächlich in Verbindung mit dem Zeitmultiplexverfahren eingesetzt. In einem solchen Fall wird die einfache Abtastschaltung durch einen Multiplexer im Sender und einen Demultiplexer im Empfänger erweitert.

7.2 Übertragung von Gleichspannungswerten mit einem PCM-System

Allgemeines

Beim PCM-Verfahren werden Analogsignale in eine bestimmte Anzahl von Amplitudenstufen eingeteilt (Quantisierungsintervalle). Unterschiedliche Amplitudenwerte innerhalb eines Intervalls kann das System nicht unterscheiden.

Aufgabe

Bauen Sie eine PCM-Strecke auf (siehe Abb. 7.2.1), und übertragen Sie damit eine Gleichspannung. Stellen Sie fest, wie groß die Quantisierungsintervalle bei dieser Schaltung sind und welche maximalen Spannungswerte übertragen werden können.

Versuchsaufbau und Durchführung

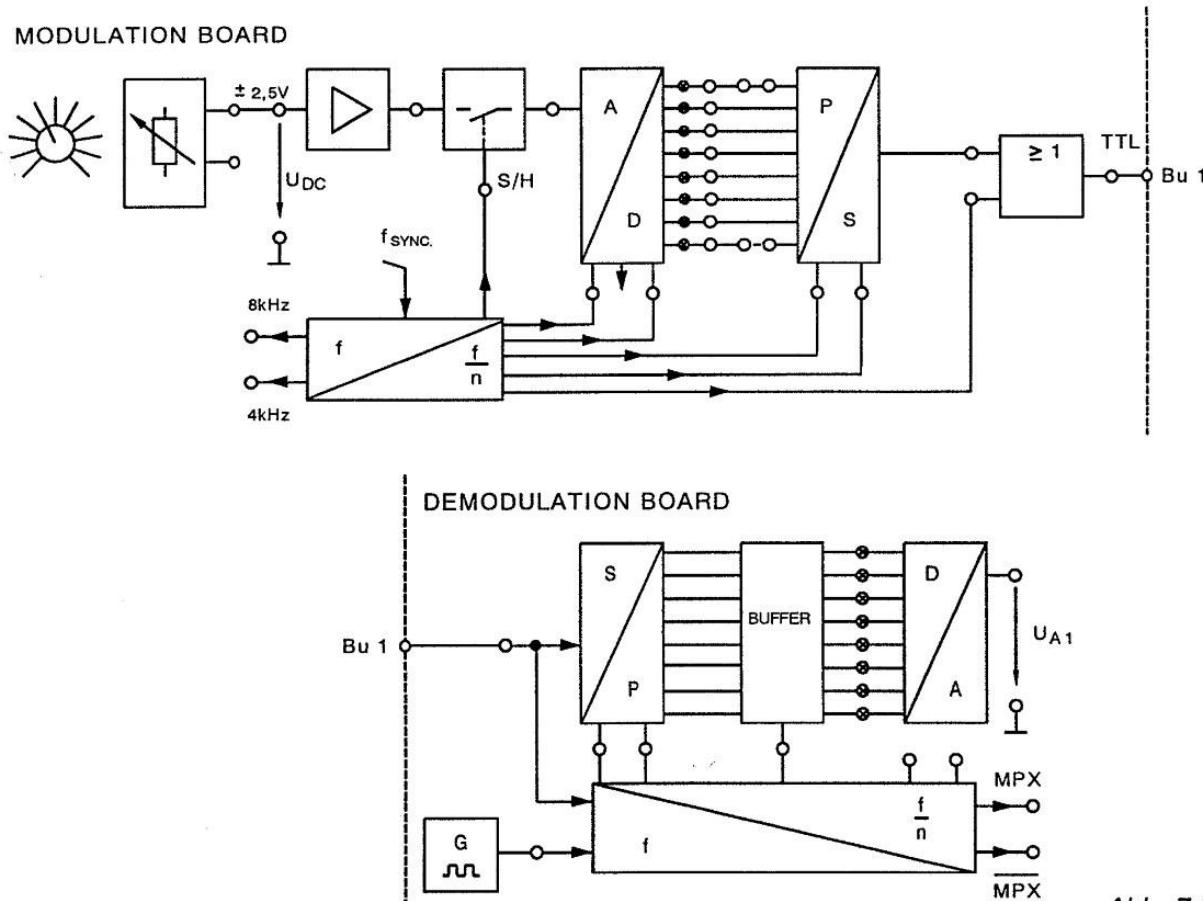


Abb. 7.2.1

Die Quantisierungsintervalle sind bei dieser Schaltung sehr klein, deshalb sind die Grenzen der Intervalle sehr schwierig zu messen. Stellen Sie mit dem Einsteller der Gleichspannung U_{DC} die in der Tabelle 7.2.1 angegebenen Codeworte ein, und messen Sie die Ausgangsspannung. Das Codewort des A/D-Wandlers und des D/A-Wandlers wird mit 8 LEDs angezeigt, wobei die oberste LED das MSB, die unterste LED das LSB ist. Errechnen Sie aus zwei aufeinanderfolgenden Spannungswerten die Quantisierungsintervalle.

MSB	binäres Codewort								U_A (V)	ΔU_A (mV)
0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0	0	0	0	0	0	0	0	1		
0	0	0	0	0	0	0	1	0		
0	0	0	0	0	0	0	1	1		
0	0	0	0	0	0	1	0	0		
0	0	0	0	0	0	1	0	1		
0	0	0	0	0	0	1	1	0		
0	0	0	0	0	1	0	0	0		
1	0	0	0	0	0	0	0	0		
1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Tab. 7.2.1

Frage: Welche Auflösung wird erreicht, wenn der untere 2-mm-Verbindungsstecker zwischen dem A/D-Wandler und P/S-Wandler gezogen wird?

Antwort:



Aufgabe

Zeichnen Sie den prinzipiellen Verlauf der Übertragungsfunktion der Schaltung Abb. 7.2.1.

Messen Sie Eingangs- und Ausgangsspannung der Schaltung, tragen Sie die Werte in die Tab. 7.2.2 ein, und zeichnen Sie das Diagramm Abb. 7.2.2.

Versuchsaufbau und Durchführung

Versuchsaufbau siehe Schaltung (Abb. 7.2.1)

U_E [V]								
U_A [V]								

Tab. 7.2.2

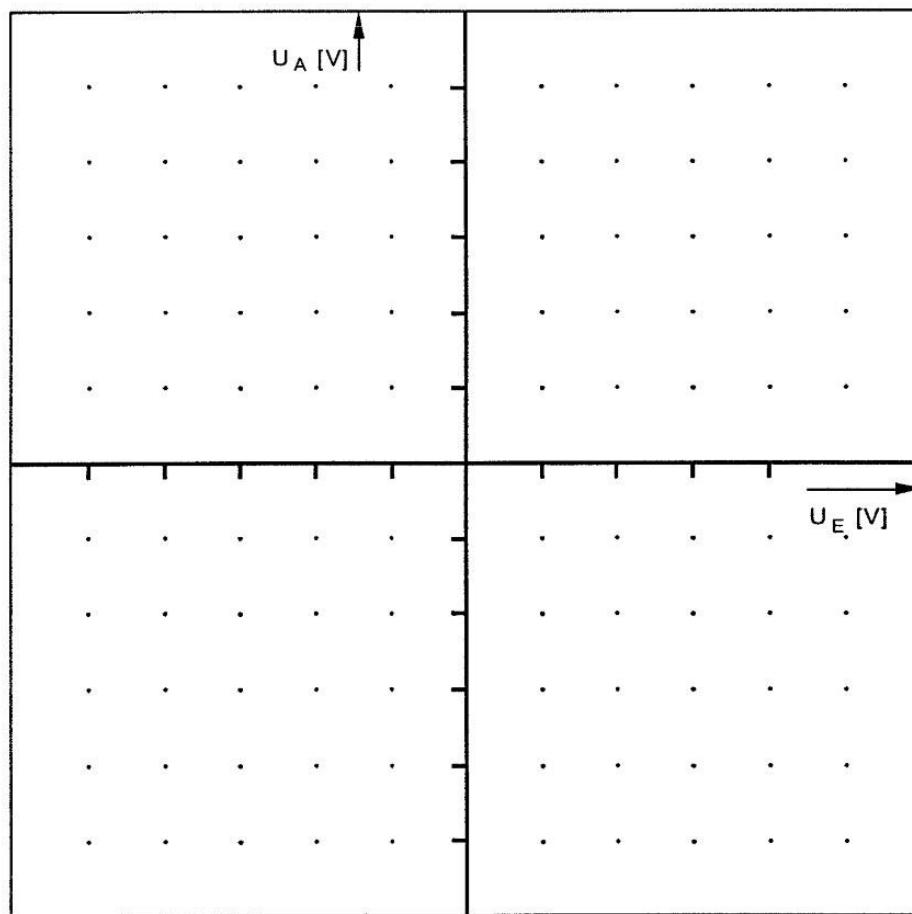


Abb. 7.2.2

Frage: Welche Auswirkung hat das Ziehen des oberen 2-mm-Verbindungssteckers zwischen A/D-Wandler und P/S-Wandler?

Antwort:



Aufgabe

Zeichnen Sie den prinzipiellen Verlauf der Übertragungsfunktion der folgenden Schaltung. Bei dieser sind die fünf niedrigstwertigen Bits kurzgeschlossen, somit ist nur eine Wandlung in $2^3 = 8$ Amplitudenstufen möglich.

Versuchsaufbau und Durchführung

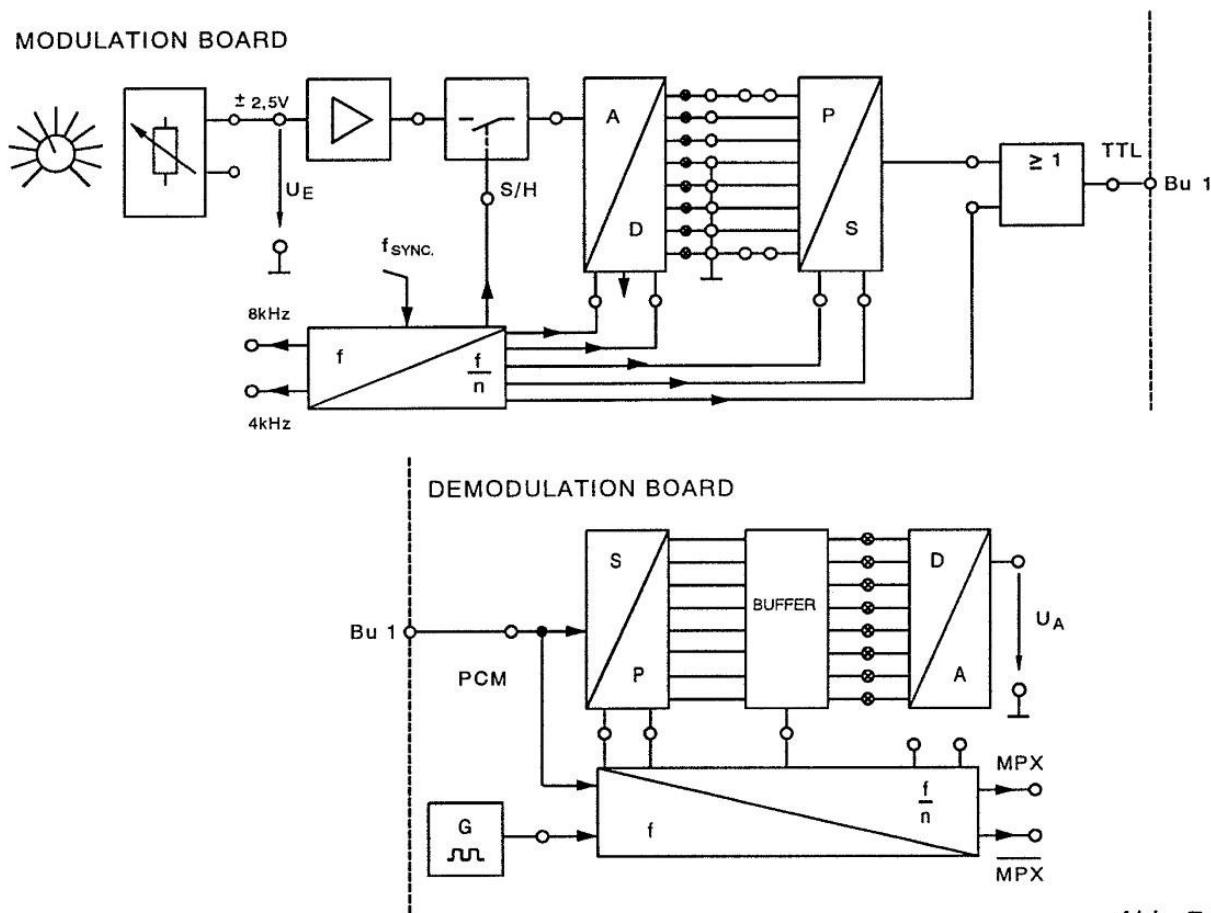


Abb. 7.2.3

Messen Sie die Eingangs- und Ausgangsspannung der Schaltung, tragen Sie die Werte in die Tab. 7.2.3 ein, und zeichnen Sie das Diagramm Abb. 7.2.4.

Da die Spannungsintervalle bei dieser 3-bit-Wandlung sehr groß sind, ist es erforderlich, nicht nur einen Meßpunkt innerhalb des Intervalls zu bestimmen, sondern die Grenzen des Intervalls genau auszumessen.

U_E [V]	unterer Schaltpunkt								
	oberer Schaltpunkt								
U_A [V]									

Tab. 7.2.3

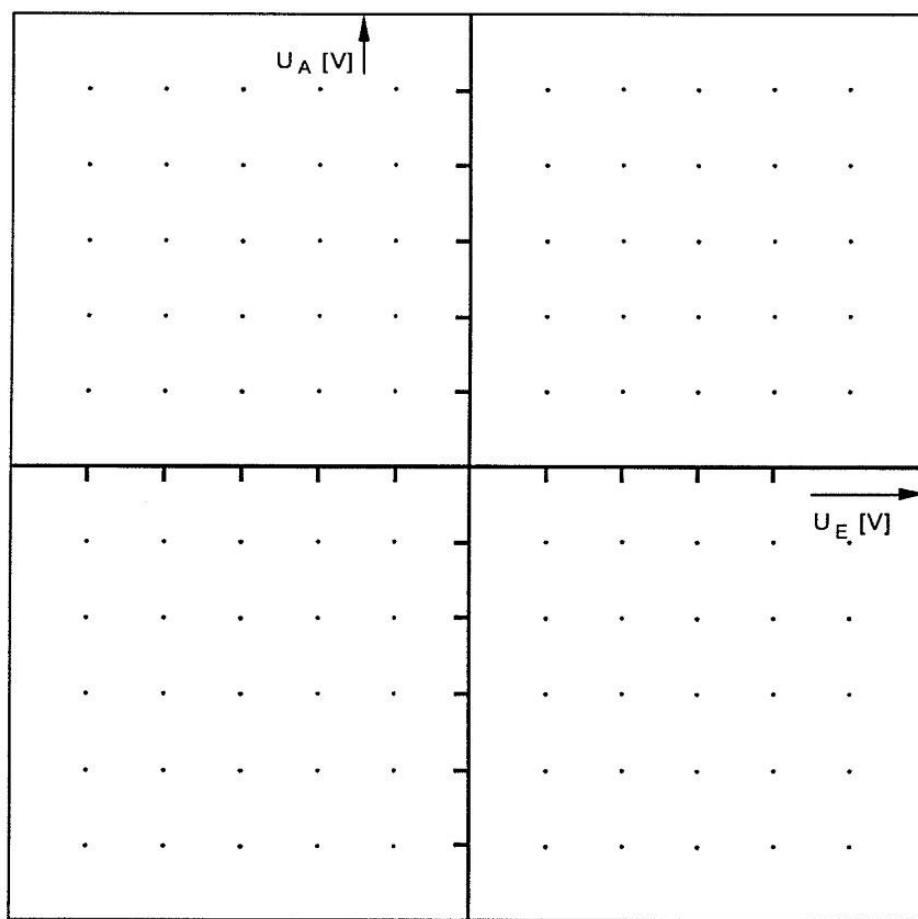


Abb. 7.2.4

7.3 Übertragung eines sinusförmigen Signals mit einem PCM-System

Allgemeines

Der D/A-Wandler des PCM-Decoders erzeugt aus den empfangenen Codeworten entsprechende Spannungswerte. Da nicht jeder Augenblickswert der Information im Modulator abgetastet und gewandelt wird, entsteht eine treppenförmige Spannung am Ausgang des D/A-Wandlers. Mit dem anschließenden Tiefpaß kann die ursprüngliche Information zurückgewonnen werden.

Aufgabe

Bauen Sie ein PCM-Übertragungssystem auf wie in Abb. 7.3.1 dargestellt, messen Sie die geforderten Spannungen U_{A1} und U_{A2} , und zeichnen Sie diese in das vorbereitete Oszillogramm.

Versuchsaufbau und Durchführung

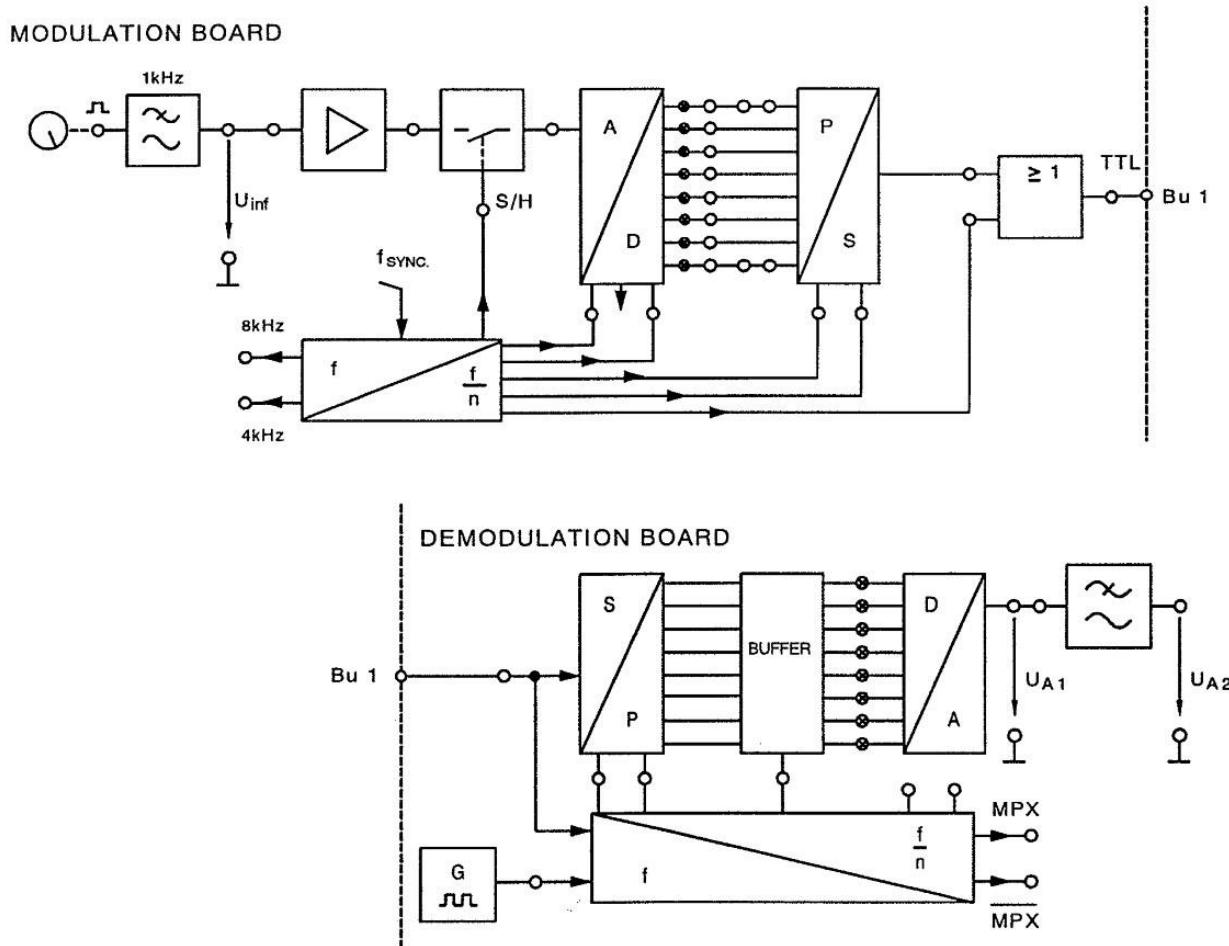


Abb. 7.3.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

$$U_{inf} \quad f = 1 \text{ kHz} \quad \hat{U} = 1,5 \text{ V}$$

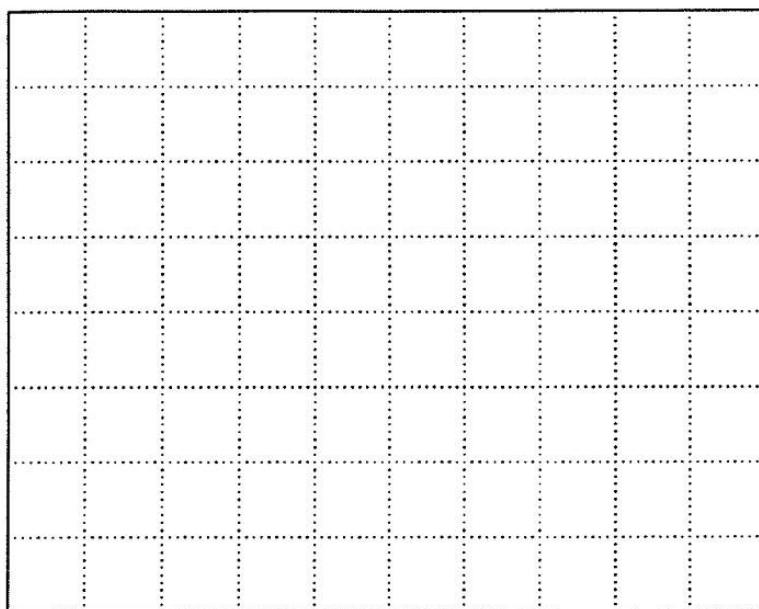


Abb. 7.3.2



7.4 Zeitmultiplexverfahren und PCM

□ Allgemeines

Das Zeitmultiplexverfahren kann zur Mehrfachnutzung von Übertragungsstrecken eingesetzt werden. Auch die PCM-Strecke des MODULATION BOARD und DEMODULATION BOARD eignet sich für das Zeitmultiplexverfahren. Dazu werden die beiden Kanäle zunächst mit einem Multiplexer abgetastet. Dieses PAM-Signal wird dann quantisiert und codiert. Die digitale Information gelangt seriell zum Empfänger, wobei zur Empfängersynchronisation ein zusätzlicher Impuls eingeschleust wird. Dank dieses Impulses kann sich der Empfänger auf den Sender synchronisieren und das Digitalsignal wieder in ein „2-Kanal-Treppensignal“ wandeln. Eine vom Synchronimpuls abgeleitete Spannung (U_{MPX}) steuert den Demultiplexer, der die beiden Kanäle wieder trennt.

□ Aufgabe

Übertragen Sie zwei Signale mit einem PCM-System (Abb. 7.4.1), und messen Sie die geforderten Signale.

Versuchsaufbau und Durchführung

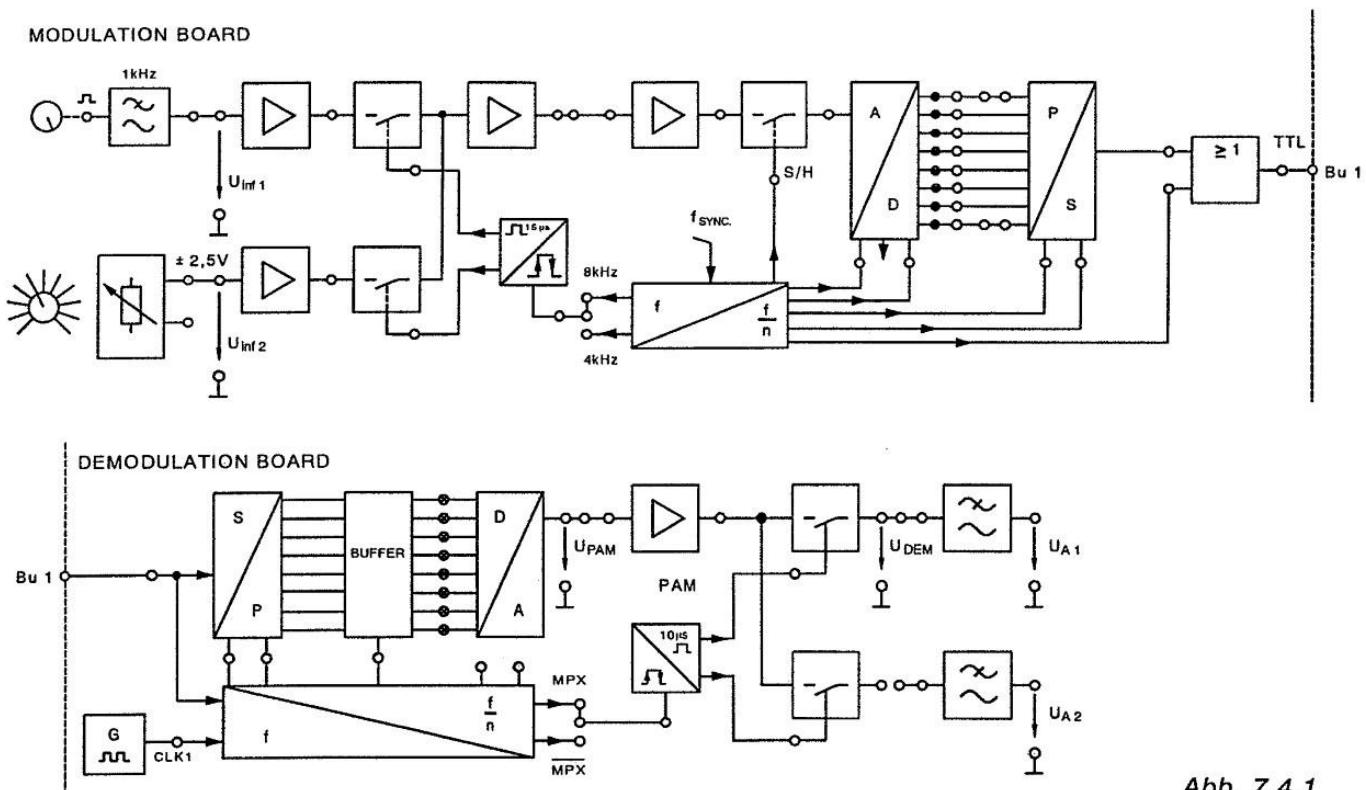


Abb. 7.4.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

$$\begin{array}{lll} U_{inf\ 1} & f = 1 \text{ kHz} & \hat{U} = 1,5 \text{ V} \\ U_{inf\ 2} & & U = +2 \text{ V} \end{array}$$

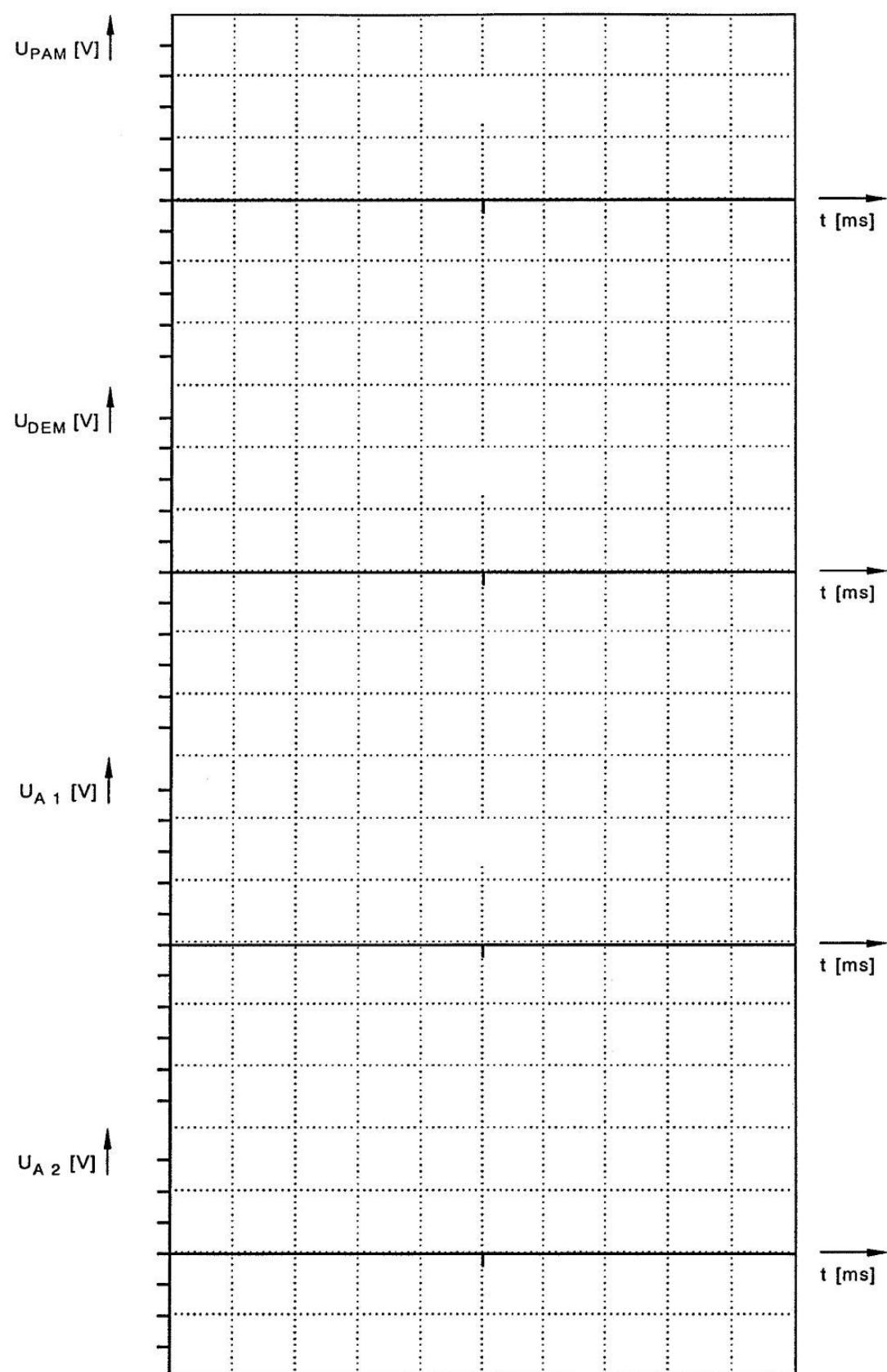


Abb. 7.4.2

7.5 Quantisierungsgeräusch

□ Allgemeines

Bei der PCM wird bekanntlich das Analogsignal in festgelegte Quantisierungsintervalle eingeteilt. Durch dies ergeben sich Unterschiede zwischen dem Eingangssignal und dem Ausgangssignal. Die Größe dieser Abweichung hängt von der Zahl der Quantisierungsstufen ab. Diese Abweichung kann man sich als die Differenz zwischen Ist- und Sollfunktion vorstellen und wird als Quantisierungsgeräusch bezeichnet.

□ Aufgabe

Versuchen Sie mit der folgenden Schaltung, das Quantisierungsgeräusch am Oszilloskop meßtechnisch zu erfassen.

Versuchsaufbau und Durchführung

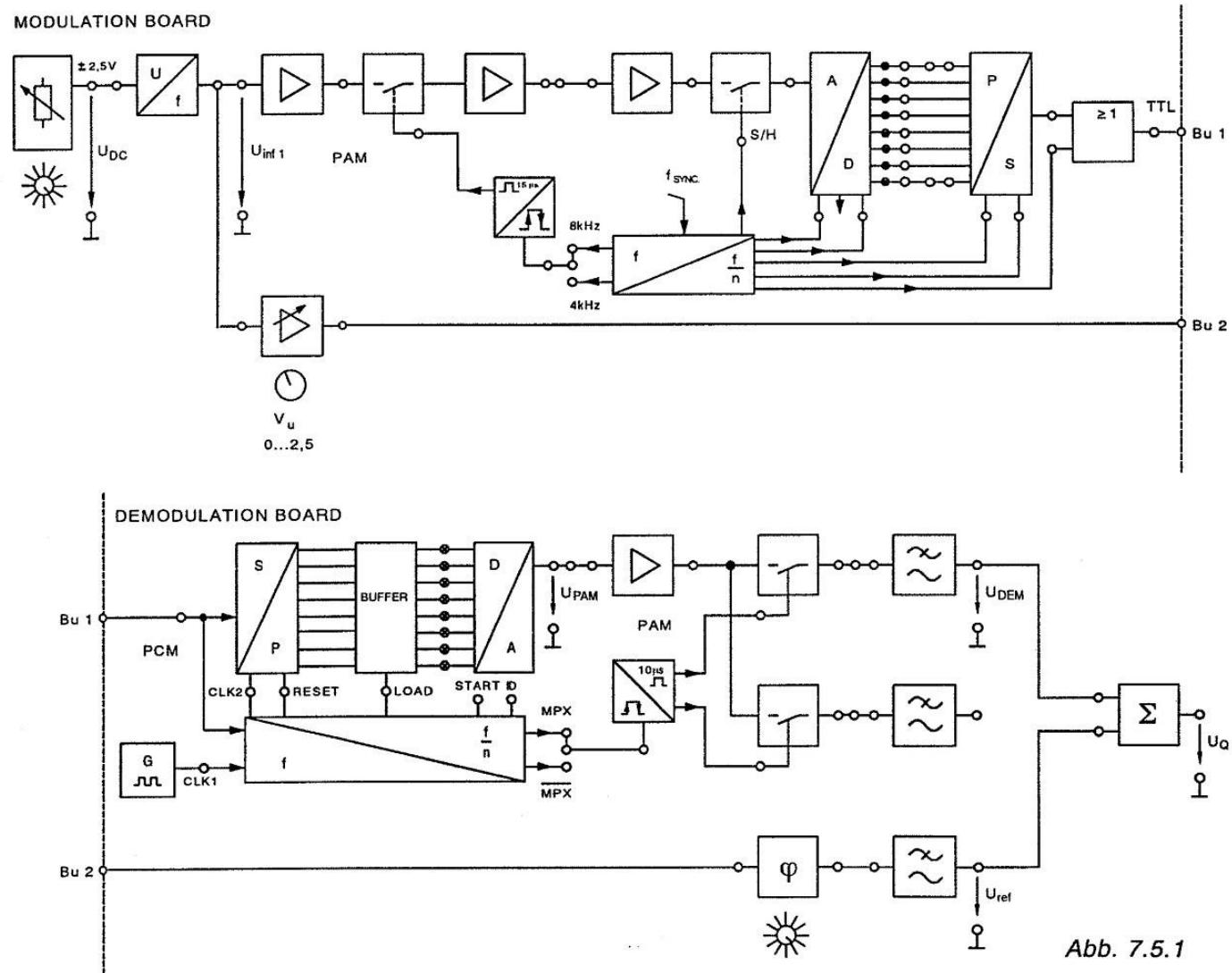


Abb. 7.5.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

U_{inf} $f = 1 \text{ kHz}$, einstellbar mit Gleichspannung U_{DC} .

Mit dem Amplitudeneinsteller V_u wird die Spannung U_{ref} auf die gleiche Amplitude wie U_{DEM} eingestellt.

Einstellwerte am DEMODULATION BOARD:

Mit dem Einsteller am Phasenschieber ist die Spannung U_{ref} gegenphasig zur Spannung U_{DEM} einzustellen.

Funktionsbeschreibung der Schaltung

Addiert man zwei gleiche, aber gegenphasige Signale, so heben sie sich auf. Weicht eines der Signale in seiner Form vom anderen etwas ab, so ist am Ausgang die Differenz der beiden Signale, das Quantisierungsgeräusch, zu messen (U_Q). Diese Aufgabe wird mit dem Summierer auf dem DEMODULATION BOARD realisiert. Um ein zur Spannung U_{DEM} gegenphasiges Signal zu erzeugen, wird der Tiefpaß in Kombination mit dem einstellbaren Phasenschieber eingesetzt.

Durchführung

Messen Sie das entstehende Quantisierungsgeräusch und die Spannung U_{DEM} , und stellen Sie die Spannungen in einem Oszilloskopogramm dar (Abb. 7.5.2). Machen Sie eine weitere Messung mit einer 5-bit- und einer 2-bit-Übertragung. Hierzu sind die nicht genutzten Bits am Ausgang des A/D-Wandlers nach Masse kurzzuschließen.

8-bit-Übertragung:

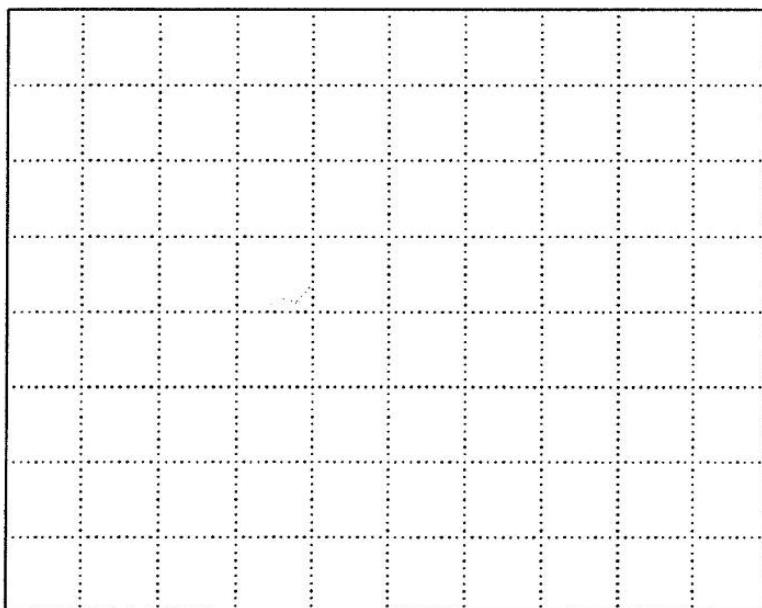


Abb. 7.5.2

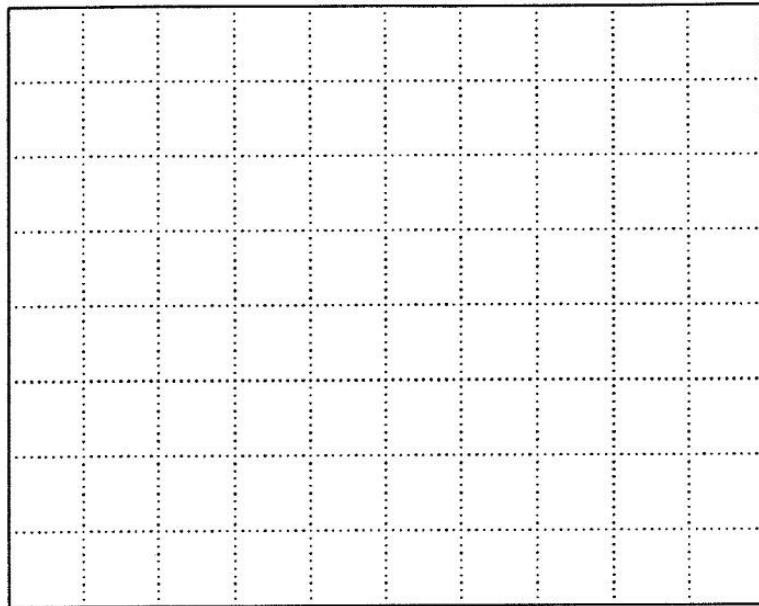
5-bit-Übertragung:

Abb. 7.5.3

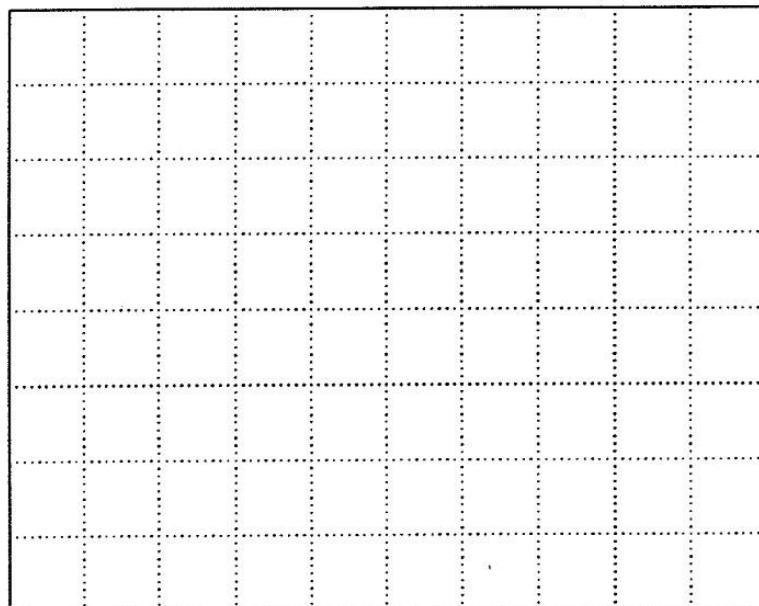
2-bit-Übertragung:

Abb. 7.5.4

8. Deltamodulation - Demodulation

8.1 Theoretische Einführung

Die Deltamodulation ist wie die Pulscodemodulation ein System mit digitaler Codierung. Im Gegensatz zur PCM wird jedoch bei der Deltamodulation nicht der Absolutwert einer Probe übertragen, sondern nur die Änderung gegenüber der vorangegangenen Probe. Im Vergleich zur PCM lässt sich die Deltamodulation einfach demodulieren. Im Modulator bildet ein Integrator den sogenannten Vorhersagewert. Auf dieselbe Weise wird das deltamodulierte Signal im Empfänger demoduliert. Die empfangenen Impulse werden integriert und mit einem zusätzlichen Tiefpaß geglättet. Da alle Bits gleichwertig sind, ist die Deltamodulation unempfindlicher gegen Übertragungsfehler als die PCM. Es trifft jedoch ein neuartiges Störgeräusch, das sogenannte „granulare Rauschen“, auf. Kann im Modulator der Integrator nicht so schnell wie gefordert die Eingangsspannung folgen, tritt eine zusätzliche Störung, die sogenannte Steigungsüberlastung, auf (englisch: overload noise).

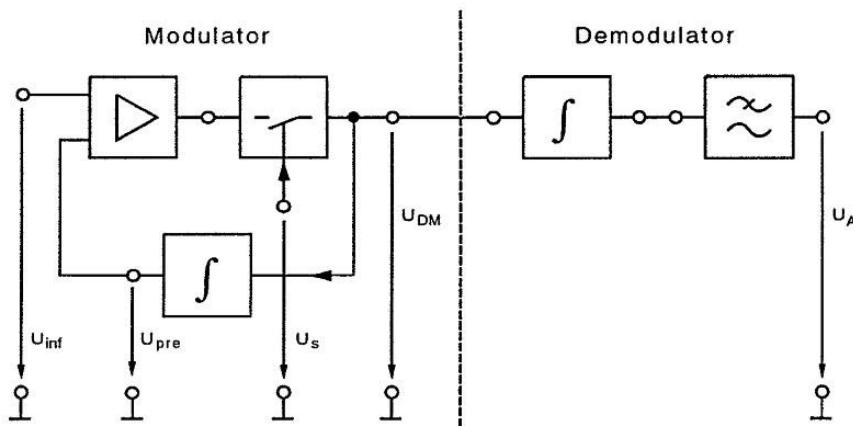


Abb. 8.1.1

8.2 Demodulation deltamodulierter Signale

Allgemeines

Es ist möglich, deltamodulierte Signale mit einem Integrator zu demodulieren. Dieser hat die Aufgabe, gesendete Impulse gleicher Polarität zu einer ansteigenden oder abfallenden Spannung zu integrieren. Die Zeitkonstante des Integrators ist entsprechend zu bemessen. Das Ausgangssignal des Integrators wird anschließend mit einem Tiefpaß geglättet.

Aufgabe

Erzeugen Sie ein deltamoduliertes Signal, und demodulieren Sie es. Messen Sie die geforderten Spannungen, und zeichnen Sie diese in Abb. 8.2.2.

Versuchsaufbau und Durchführung

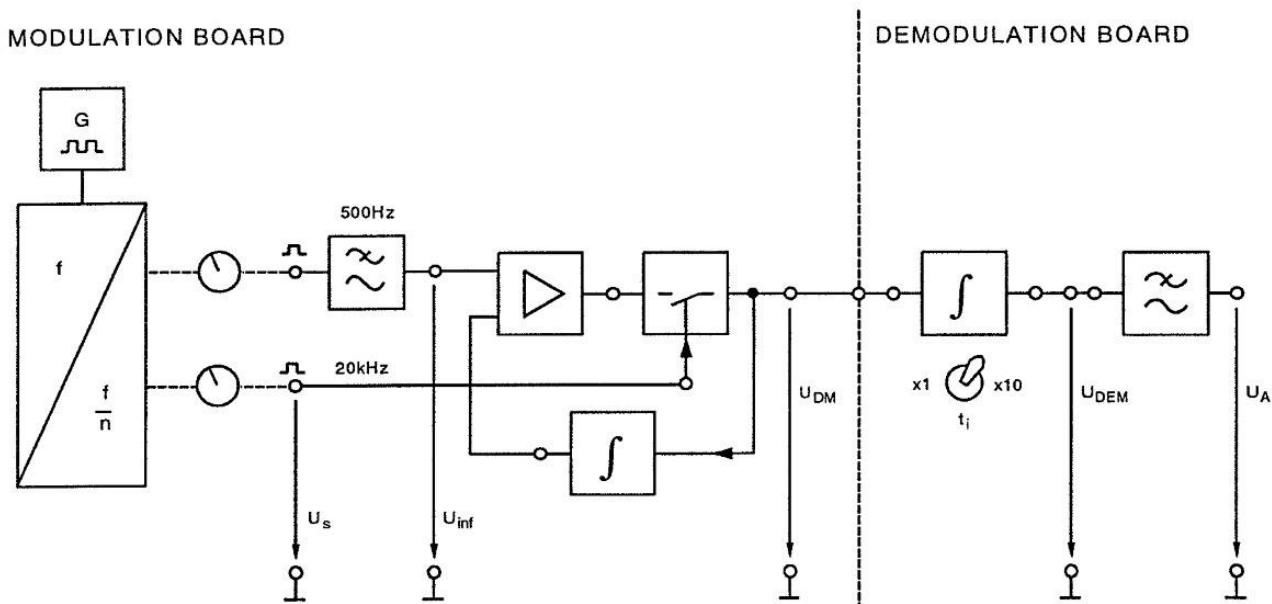


Abb. 8.2.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

$$\begin{array}{ll} U_{inf} \quad f = 500 \text{ Hz} & \hat{U} = 200 \text{ mV} \\ U_s \quad f = 20 \text{ kHz} & \text{TTL-Pegel} \end{array}$$

Einstellwerte am DEMODULATION BOARD:

Schalter am Integrator in Stellung $t_i \times 10$
Verwenden Sie den einzeln beschaltbaren Tiefpaß zur Filterung des demodulierten Signals.

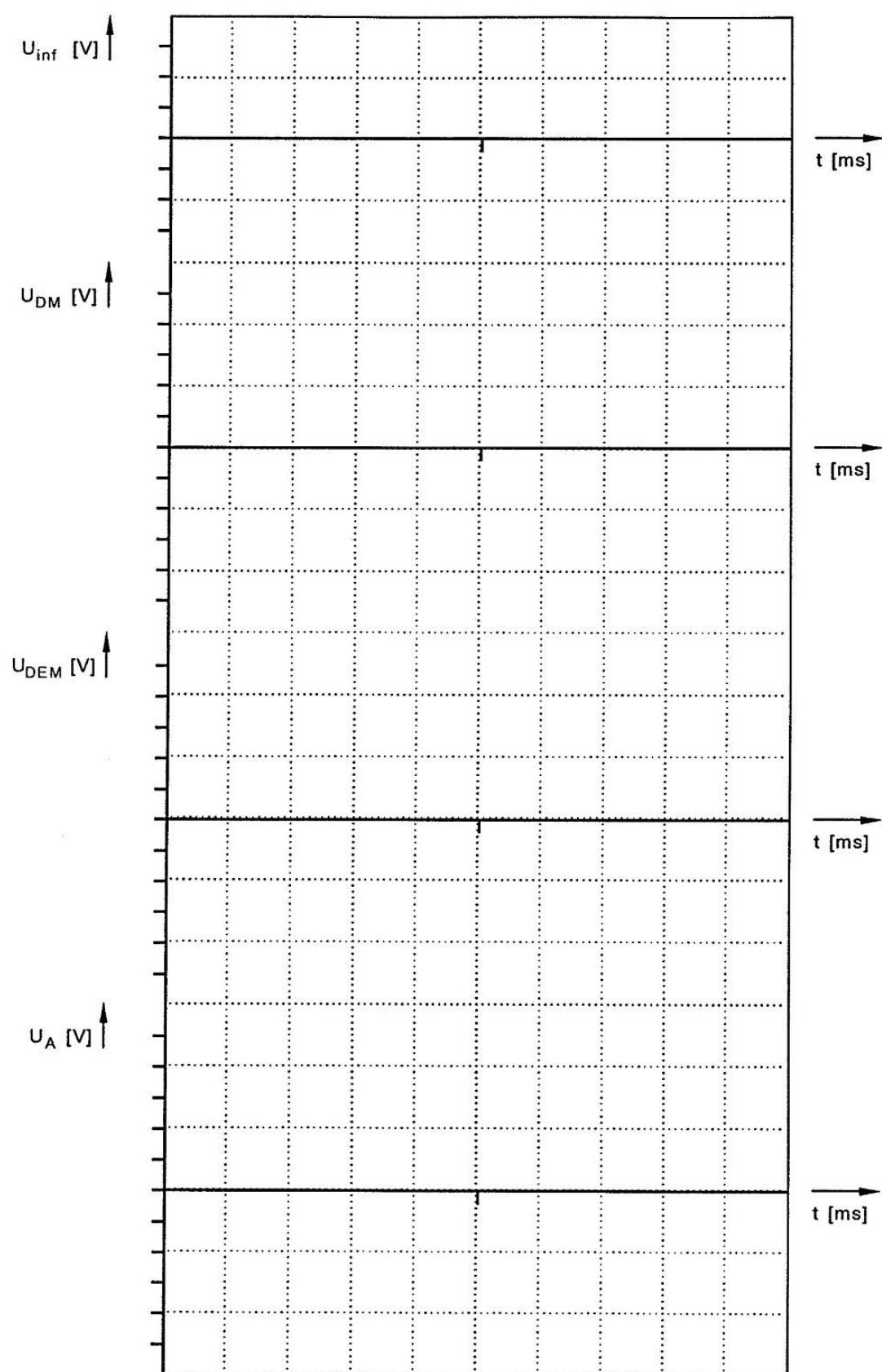


Abb. 8.2.2

8.3 Steigungsüberlastung

Allgemeines

Sehr schnellen Änderungen der Informationsspannung kann der Prädiktionswert im Modulator nicht folgen. Da die Abtastfrequenz und die Größe der Spannungssprünge im Integrator des Modulators festgelegt sind, ist die maximal verarbeitbare Signalamplitude von der Frequenz der Informationsspannung abhängig.

In der folgenden Übung soll untersucht werden, welche Signalamplitude bei unterschiedlichen Signalfrequenzen ohne Steigungsüberlastung verarbeitet werden kann.

Steigungsüberlastung tritt ein, wenn der Vorhersagewert im Modulator (U_{pre}) einem schnellen Wechsel der Informationsspannung U_{inf} nicht schnell genug folgen kann.

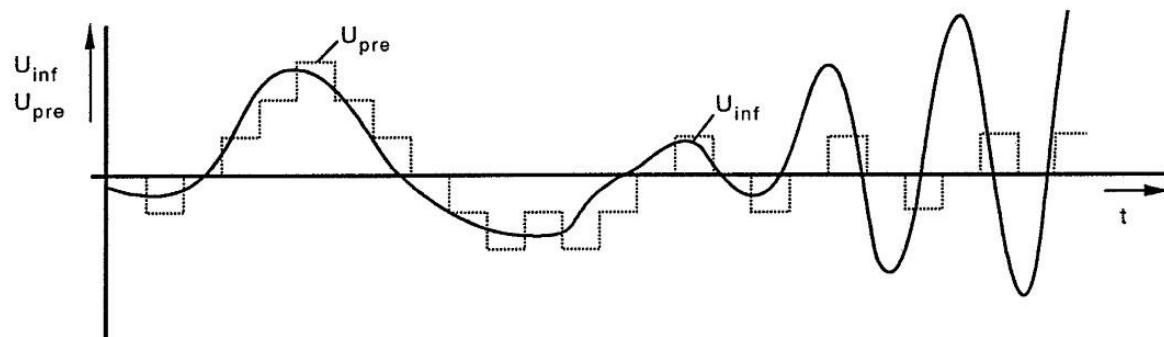


Abb. 8.3.1

Aufgabe

Messen Sie bei unterschiedlichen Informationsfrequenzen ($f_{inf} = 500 \text{ Hz}, 1 \text{ kHz}, 2 \text{ kHz}$) die maximal erreichbare Ausgangsspannung am Integrator.

Versuchsaufbau und Durchführung

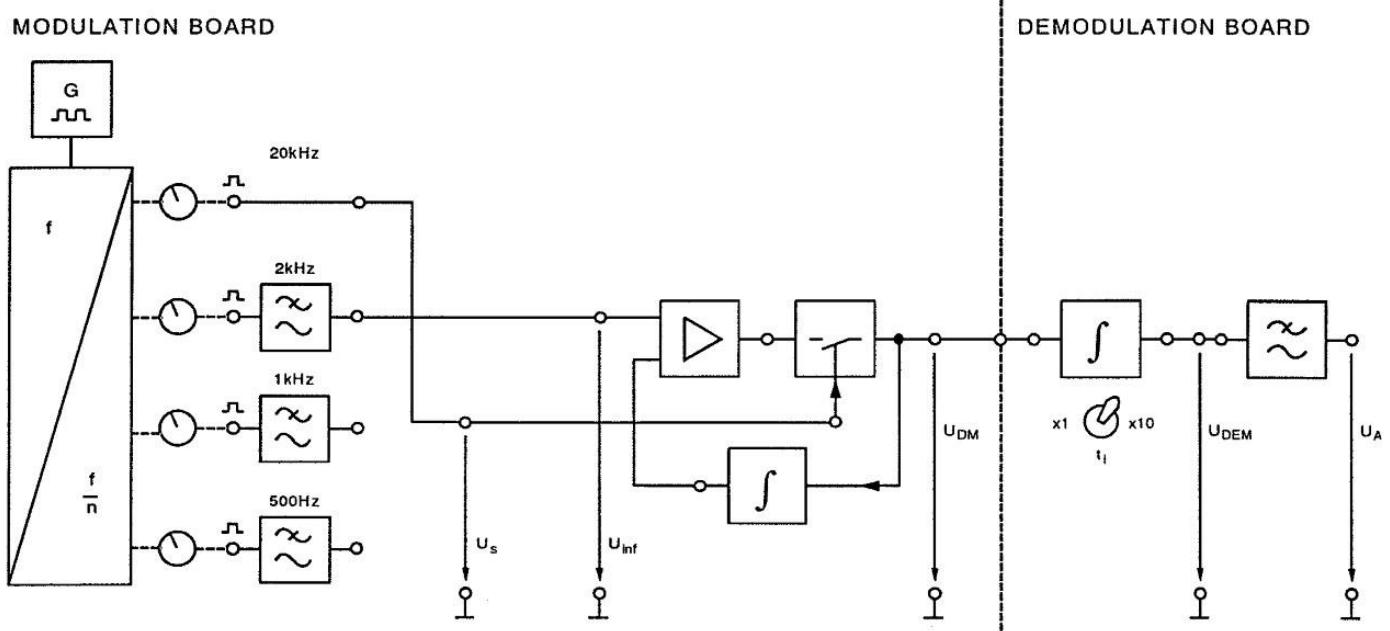


Abb. 8.3.2

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

$U_s \quad f = 20 \text{ kHz} \quad \text{TTL-Pegel}$

Einstellwerte am DEMODULATION BOARD:

Schalter am Integrator in Stellung $t_i \times 10$

Verwenden Sie den einzeln beschaltbaren Tiefpaß.

Erhöhen Sie langsam, von Null beginnend, die Amplitude der Spannung U_{inf} .

Messen Sie den maximal erreichbaren Spannungswert der Spannung U_{DEM} und U_A in der Tab. 8.3.1 bei unterschiedlichen Informationsfrequenzen, und tragen Sie die Werte in Tab. 8.3.1 ein.

f_{inf} [kHz]	0,5	1	2
U_{DEM} [V]			
U_A [V]			

Tab. 8.3.1

Frage: Wie groß ist die Stufenhöhe der Spannung U_{DEM} ? Errechnen Sie daraus den maximalen Wert U einer sinusförmigen Spannung bei den Frequenzen 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz.

Antwort:

8.4 Übertragung deltamodulierter Signale mit PSK

Allgemeines

Deltamodulierte Signale benötigen zur Übertragung eine große Bandbreite. Durch den Einsatz der digitalen Modulationsverfahren kann die Bandbreite reduziert werden.

Im folgenden Versuchsaufbau wird dazu das PSK-Verfahren eingesetzt.

Aufgabe

Bauen Sie einen PSK-Modulator auf, der ein deltamoduliertes Signal verarbeitet, und demodulieren Sie dieses. Messen Sie die in Abb. 8.4.2 geforderten Signale.

Versuchsaufbau und Durchführung

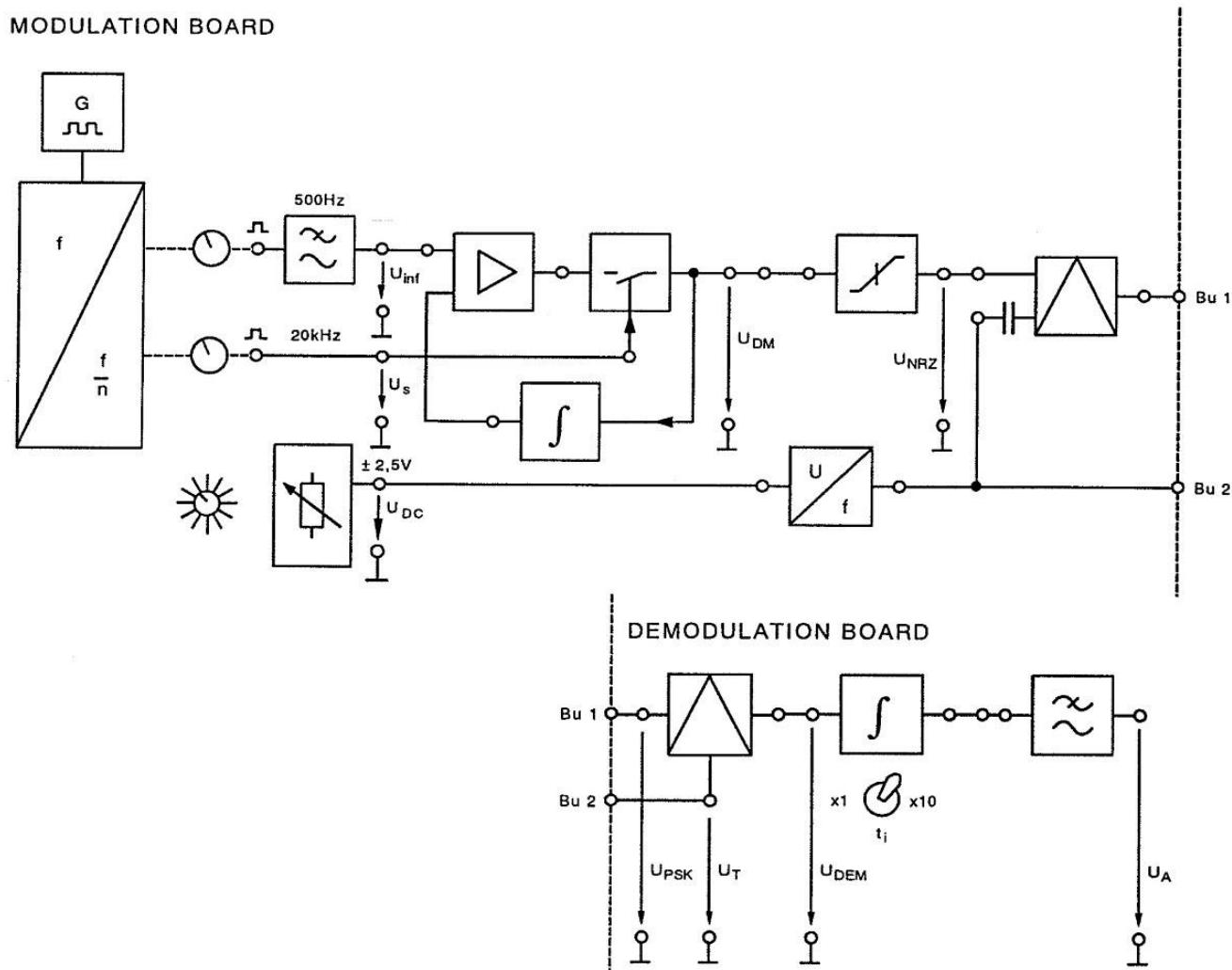


Abb. 8.4.1

Einstellwerte am MODULATION BOARD:

U_{DC}	$\hat{U} = +2,5 \text{ V}$	
U_s	f = 20 kHz	TTL-Pegel
U_{inf}	f = 500 Hz	$\hat{U} = 0,25 \text{ V}$

Einstellwerte am DEMODULATION BOARD:

Schalter am Integrator in Stellung $t_i \times 10$
Verwenden Sie den einzeln beschaltbaren Tiefpaß.

Funktionsbeschreibung:

Die deltamodulierte Spannung U_{DM} liegt im sogenannten RZ-Format (Return to Zero) vor. Zwischen den positiven oder negativen Impulsen geht die Spannung dabei immer wieder auf den Wert Null. Drei unterschiedliche Signale (positive Spannung, negative Spannung und 0) kann der PSK-Modulator des MODULATION BOARD aber nicht verarbeiten. Deshalb muß das deltamodulierte Signal in ein Signal mit nur zwei Zuständen gewandelt werden. Diese Aufgabe übernimmt der hier eingesetzte Begrenzerverstärker. Er bildet ein Signal im NRZ-Format (Non Return to Zero).

Da der eigentliche PSK-Modulator des MODULATION BOARD für TTL-Pegel am Digitaleingang nicht für Wechselspannung konstruiert ist, wird der Produktmodulator zur Erzeugung des PSK-Signals verwendet.

Da die Trägerspannung U_T nicht synchron zu den Spannungen U_s und U_{inf} ist, ist ein getriggertes Darstellen der Spannung U_{PSK} schwierig.



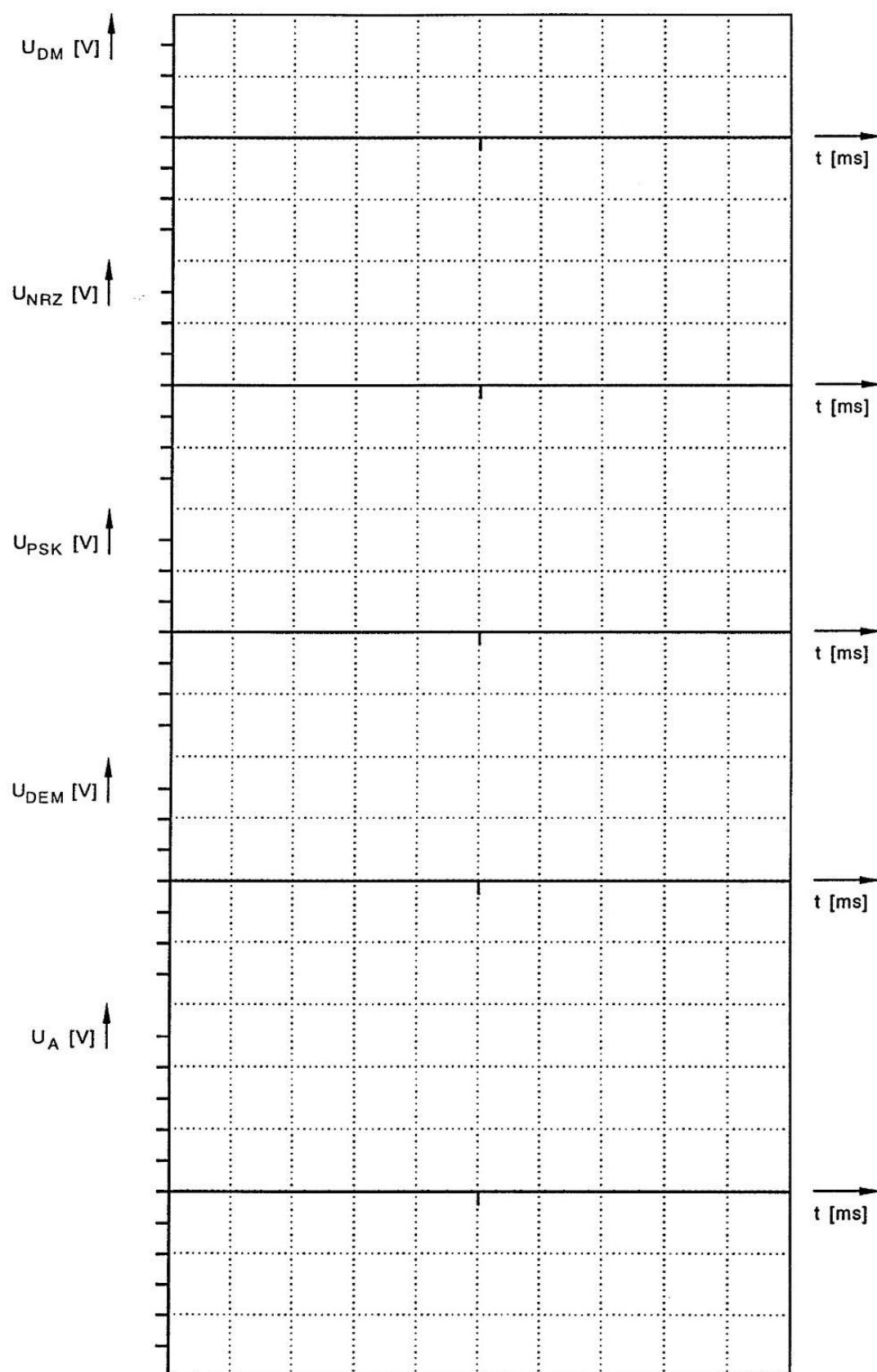


Abb. 8.4.2