



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG

EIT

FAKULTÄT FÜR
ELEKTROTECHNIK UND
INFORMATIONSTECHNIK

Institut für Elektronik, Signalverarbeitung und Kommunikationstechnik

Laborpraktikum Grundlagen der Kommunikationstechnik

Versuch

Analoge Modulationsverfahren

Amplitudenmodulation KT 01

Winkelmodulation KT 02

Analoge Modulationsverfahren

1. Versuchsziel

Neben der Basisbandübertragung nehmen die analogen Modulationsverfahren bei der Übertragung von Signalen in der Nachrichtentechnik einen breiten Raum ein. Mit Hilfe der Amplituden-, Frequenz- und Phasenmodulation ist es möglich, niederfrequente Signale in höhere Frequenzbereiche zu transponieren. Damit können die Eigenschaften der Übertragungskanäle besser genutzt werden, und es ergeben sich folgende Vorteile:

- Übertragung des Signals in einer günstigen Frequenzlage
- Mehrfachausnutzung eines Übertragungsweges
- Erzielung eines günstigen Störabstandes.

Ausgehend von den theoretischen Grundlagen, sollen bei der Durchführung der Versuche die praktischen Fertigkeiten bei der Ermittlung von verschiedenen Parametern der Übertragungsstrecke gefestigt werden. Dabei bilden die folgenden Komplexe wesentliche Schwerpunkte bei der Vorbereitung und Durchführung des Versuches:

Amplitudenmodulation

- Unterschied zwischen Modulation, Mischung und Gleichrichtung
- Realisierung von AM-Modulatoren und -Demodulatoren
- Aufbau verschiedener AM-Spektren und deren praktische Ermittlung
- Begriffe Kehr- und Regellage von Seitenbändern
- Bandbreitebedarf bei DSB (ZAM) und SSB (EAM)
- Amplitudenhub und Modulationsgrad
- Hüllkurven- und Synchronisationsdemodulation
- Probleme bei der Trägerrückgewinnung.

Winkelmodulation

- Realisierung von FM/PM-Modulatoren und -Demodulatoren
- Aufbau verschiedener FM-Spektren und deren praktische Ermittlung
- Begriffe Frequenz- und Phasenhub
- Begriff Modulationsgewinn
- Störsicherheit von FM-Signalen

2. Theoretische Grundlagen

Die zur Durchführung des Versuches notwendigen theoretischen Grundlagen wurden in der Lehrveranstaltung Grundlagen der Nachrichtentechnik behandelt. Im einzelnen werden Grundbegriffe aus nachstehenden Komplexen benötigt:

- Signaltheorie (Fourieranalyse, Spektraldarstellung)
- Schaltungstechnik (Modulatoren, Demodulatoren, Mischer)
- Leitungstheorie (Ersatzschaltbilder, Kenngrößen von Leitungen)

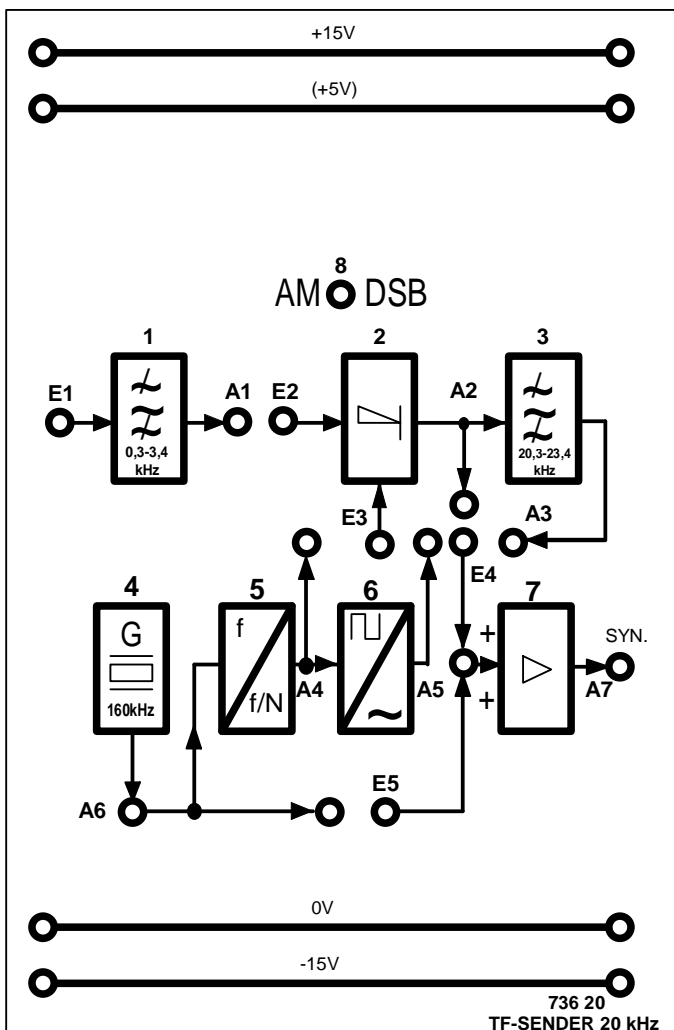
3. Literatur

- /1/ Herter, E.; Lörcher, W.: Nachrichtentechnik: Übertragung, Vermittlung und Verarbeitung. Carl Hanser Verlag München Wien, 1992
- /2/ Steinbuch, K.; Rupprecht, W.: Nachrichtentechnik. 3. Aufl.-Band 2: Nachrichtenübertragung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1988
- /3/ Seifart, M.: Analoge Schaltungen. Hüthig Verlag Heidelberg, 1990

4. Amplitudenmodulation (NT 01)

4.1. Versuchsaufbau Amplitudenmodulation

Zur Versuchsdurchführung werden der TF-Sender 736 20 und der SSB-/DSB-Empfänger 736 29 benötigt. Die Blockschaltbilder der Module sind in den Bildern 4.1 und 4.2 dargestellt. Zur Vorbereitung der Durchführung des Versuches sind Verdrahtungen auf der Basis der Bilder 4.1 und 4.2 zu realisieren.



Eingangssignal:

- NF-Signal

Ausgangssignal:

- AM-Signal

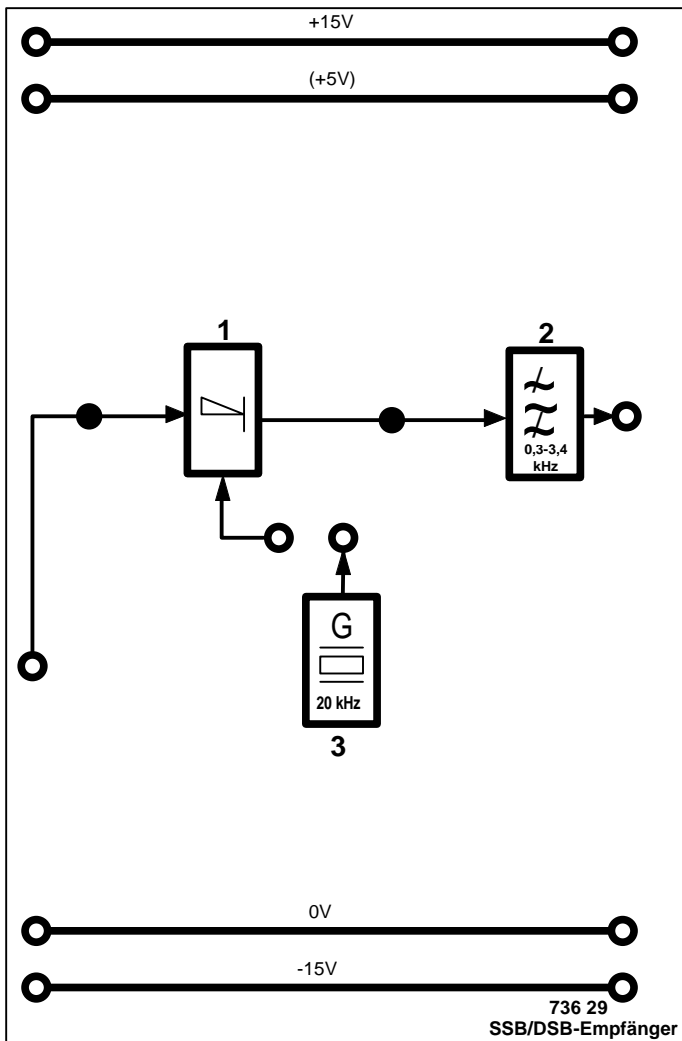
Funktionen:

- Erzeugung von AM-Signalen mit Träger
- Erzeugung von AM-Signalen ohne Träger
- Signalsummation
- Pilottonerzeugung

Komponenten:

1. Eingangsfilter (Grenzfrequenz: 3,4 kHz)
2. Modulator
3. Kanalfilter für SSB-AM (20,3...23,4 kHz)
4. Taktoszillator mit Signalformer zur Pilottonerzeugung
5. Frequenzteiler
6. Rechteck/Sinus- Konverter
7. Ausgangssummierer (Eingänge sind unterschiedlich gewichtet)
8. Kippschalter zur Trägerunterdrückung

Bild 4.1: TF-Sender



Eingangssignal:

- AM-Signal

Ausgangssignal:

- NF-Signal

Funktionen:

- Demodulation von AM-Signalen
- Bereitstellung eines Hilfsträgers

Komponenten:

1. Multiplizierer als demodulierendes Element
2. TP-Ausgangsfilters (0,3...3,4 kHz)
3. Oszillator zur Erzeugung des Hilfsträgers

Bild 4.2: SSB-/DSB-Empfänger

4.2. Vorbereitungsaufgaben zum Komplex Amplitudenmodulation

1. Was versteht man unter Modulation und was unter Schwebung?
2. Welche Vorteile bietet die Modulation im Bereich der Nachrichtenübertragung?
3. Geben Sie einen Überblick zu den verschiedenen Realisierungsvarianten von AM-Systemen.
4. Ein monofrequentes harmonisches Signal mit $f=2$ kHz und $U_m = 500$ mV soll mittels AM übertragen werden. Das harmonische Trägersignal hat eine Trägerfrequenz von 20 kHz und eine Amplitude von 750 mV. Geben Sie die Spannungszeitfunktion des modulierten Signals an. Berechnen Sie das Spektrum des AM-Signals, stellen Sie es graphisch dar, geben Sie die Übertragungsbandbreite an und bestimmen Sie den Modulationsgrad.
5. Bestimmen Sie unter Verwendung der Parameter der Aufgabe 4 die Gesamtleistung P_{ges} , die Trägerleistung P_T und die Seitenbandleistung P_s . Berechnen Sie das Verhältnis von P_s und P_{ges} als Funktion von m und stellen Sie es graphisch dar.
6. Zur Demodulation werden Bauelemente mit nichtlinearen Kennlinien verwendet. Um die Zusammenhänge der Demodulation kennenzulernen, ist von einer quadratischen Kennlinie auszugehen, die durch eine Taylorreihe approximiert werden kann.

- a) Berechnen Sie die Ausgangszeitfunktion $u_a(t)$, indem Sie für $u_e(t)$ ein ZAM-Signal annehmen. Ordnen Sie $u_a(t)$ nach steigender Frequenz.
- b) Wählen Sie ein geeignetes Filter zur Selektion des Demodulationssignals und zur Dämpfung der unerwünschten Spektralanteile.
- c) Bestimmen Sie den systembedingten Klirrkoeffizienten für das demodulierte Signal.
7. Nennen Sie schaltungstechnische Möglichkeiten zur Realisierung von AM-Demodulatoren.
8. Warum ist der Träger im Modulationsprodukt überflüssig und darf unterdrückt werden?
9. Erläutern Sie verschiedene Möglichkeiten zur Trägerunterdrückung. Welche Vorteile ergeben sich daraus?
10. Erläutern Sie den Aufbau von Frequenzmultiplexsystemen.

4.3. Versuchsdurchführung Amplitudenmodulation

4.3.1. Lineare Signalüberlagerung

Schalten Sie den Kippschalter des TF-Senders auf Position AM. Verbinden Sie die Meßpunkte E5-A5 und speisen Sie das Trägersignal, das am Meßpunkt A5 zur Verfügung steht, in den Eingang E5 des Ausgangssummierers ein. Der Eingang E4 des Ausgangssummierers ist mit dem Funktionsgenerator zu verbinden.

1. Stellen Sie die folgenden Signalparameter ein: Signalform: \sim , $f = 2,5 \text{ kHz}$, $\hat{u} = 250 \text{ mV}$.
 - Skizzieren Sie den Signalverlauf des Ausgangssignal des Summierverstärkers.
 - Ermitteln Sie das Spektrum des Ausgangssignals und stellen Sie es grafisch dar.
2. Wiederholen Sie die Messungen mit folgenden Signalparametern: Signalform: \sim , $f = 16 \text{ kHz}$ und $\hat{u} = 3,75 \text{ V}$.
 - Ist diese Baugruppe zur Erzeugung von AM-Signalen geeignet?

4.3.2. Amplitudenmodulation

Verbinden Sie die Meßpunkte A1-E2, A5-E3 und den Funktionsgenerator mit dem Meßpunkt E1.

1. Skizzieren Sie für ein Eingangssignal mit der Signalform: \sim , $\hat{u} = 2 \text{ V}$, $f_s = 2 \text{ kHz}$ den Zeitverlauf des Modulationsproduktes und bestimmen Sie den Modulationsgrad durch die Verwendung folgender Beziehung: $m = (D-d)/(D+d)$
 D: Spitze-Spitze-Wert des Maximums der AM; d: Spitze-Spitze-Wert des Minimums der AM.
2. Bestimmen Sie den Modulationsgrad entsprechend Punkt 1 durch die Auswertung des Modulationstrapezes. Ermitteln Sie die Ausgangsspannung des Modulators bei einem Modulationsgrad von 100 %. Zur optimalen Einstellung des Modulationstrapezes verändern Sie die Signalfrequenz in einem Bereich von 0,5...3 kHz. Erklären Sie die Drehung des Trapezes.
3. Oszillographieren Sie das NF-Signal und das Modulationsprodukt gemeinsam. Verschieben Sie das NF-Signal an die obere und untere Hüllkurve des AM-Signals. Variieren Sie die Frequenz (0,1...2 kHz) des NF-Signals und dessen Amplitude (0...3V). Wie spiegeln sich die Veränderungen des Eingangssignal im Ausgangssignal wider?

4.3.3. Spektren von AM-Signalen

Verbinden Sie den Meßpunkt A2 des Modulators mit dem Eingang des Analysators. Benutzen Sie folgendes Eingangssignal: Signalform: \sim , $f_s = 2$ kHz. Wählen Sie die Amplitude des modulierenden Signals so, daß der Modulationsgrad $m = 100\%$ beträgt.

1. Überprüfen Sie den Modulationsgrad und ermitteln Sie das Spektrum im Bereich von 15...25 kHz. Stellen Sie das Spektrum graphisch dar, und vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen der Aufgabe 4 der Versuchsvorbereitung.
2. Wiederholen Sie die Messungen für $f_s = 3$ kHz mit einer um 50 % reduzierten Amplitude des Eingangssignals. Vergleichen Sie beide Spektren. Bestimmen Sie die Übertragungsbandbreiten, und begründen Sie die Unterschiede im Aufbau beider Spektren. Wie würde sich das Spektrum verändern, wenn am Eingang des Modulators ein Frequenzgemisch anliegt?
3. Stellen Sie den Modulationsgrad, der unter Punkt 2 bei 4.3.2. ermittelt wurde, im Zeigerdiagramm dar.

4.3.4. Demodulation von AM-Signalen

Nehmen Sie die Einstellung des TF-Senders entsprechend Aufgabe 4.3.2. vor. Vergrößern Sie jedoch den Modulationsgrad auf $m=100\%$. Verbinden Sie den Modulatorausgang mit dem Demodulatoreingang.

Oszillographieren Sie das modulierte und demodulierte Signal. Verwenden Sie als Hilfsträger zunächst das Trägersignal des TF-Senders, das am Meßpunkt A4 zur Verfügung steht. Wiederholen Sie die Messung unter Verwendung des Hilfsträger des Synchrondemodulators. Stellen Sie die Ergebnisse graphisch dar und begründen Sie diese.

4.3.5. Ermittlung der Trägerdämpfung

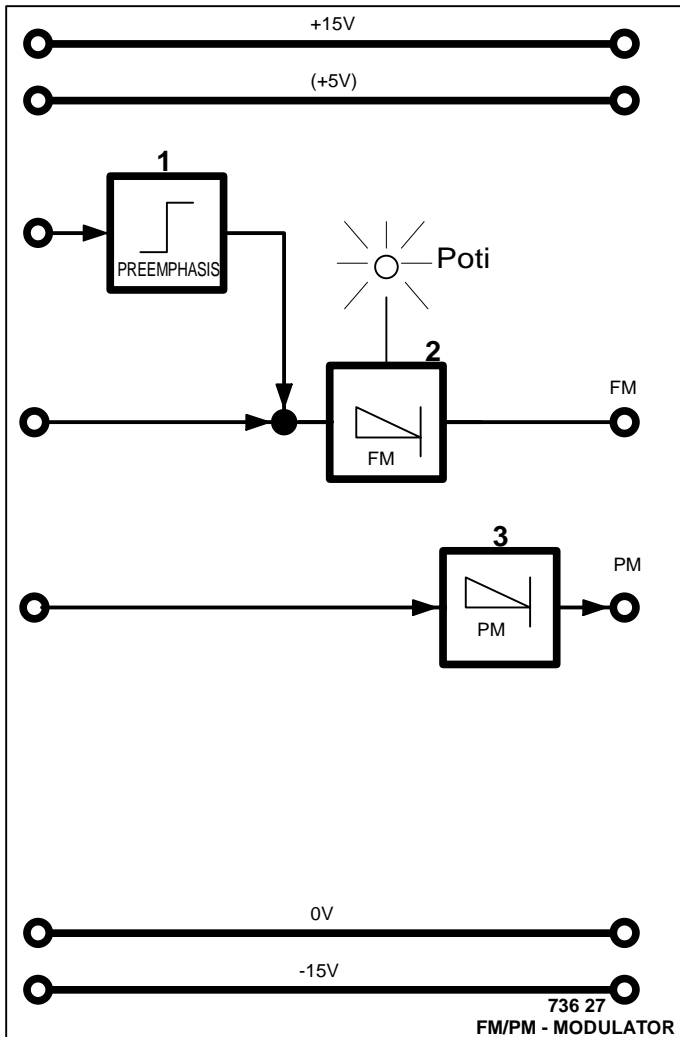
Gehen Sie von der Einstellung entsprechend Aufgabe 4.3.4. aus.

1. Nehmen Sie den Frequenzgang des SSB-Filters des TF-Senders auf. Verwenden Sie ein Eingangssignal mit folgenden Parametern: Signalform: \sim , $f = 1...25$ kHz und $\hat{u} = 2,5$ V. Stellen Sie die Ergebnisse graphisch dar und berechnen Sie die Trägerdämpfung.
2. Ermitteln Sie das Spektrum am Ausgang des SSB-Filters, und kennzeichnen Sie den Trägerrest und die Seitenlinien.
3. Verbinden Sie den Ausgang des SSB-Filters mit dem Ausgangssummierer. Oszilloskopieren Sie das modulierte und das demodulierte Signal. Verwenden Sie als Hilfsträger zunächst das Trägersignal des TF-Senders und anschließend den Hilfsträger des Synchrondemodulators. Stellen Sie die Ergebnisse graphisch dar und begründen Sie diese.

5. Winkelmodulation (NT 02)

5.1. Versuchsaufbau Winkelmodulation

Zur Durchführung des Versuches werden die Module FM/PM-Modulator 736 27 und FM/PM-Demodulator 736 28 benötigt. Der Aufbau und die Funktionsweise der Baugruppen gehen aus den Bildern 5.1 und 5.2 hervor. Zur Vorbereitung der Durchführung des Versuches sind Verdrahtungen auf der Basis der Bilder 5.1 und 5.2 zu realisieren.



Eingangssignal:

- NF-Signal

Ausgangssignal:

- FM/PM-Signal

Funktionen:

1. FM-Modulation
2. PM-Modulation
3. Erhöhung des Störabstandes

Komponenten:

1. Preemphase (Differenzierglied)
2. VCO (Mittenfrequenz von 18...22 kHz einstell-bar) zur Erzeugung des FM-Signals
3. Spannungsgesteuerter Allpaß zur Erzeugung des PM-Signals aus dem FM-Signal

Bild 5.1: FM/PM-Modulator

8. Welche Aufgabe hat die Preemphase, und warum wird bei der FM-Demodulation die Deemphase eingesetzt?
9. Berechnen Sie die Sprungantwort einer Allpaßschaltung 1. Ordnung. Leiten Sie aus dem Ergebnis die Antwortfunktion für einen Rechteckimpuls ab.
10. Wie bestimmt man das Spektrum eines FM-Signals?
11. Für die Demodulation von FM- und PM-Signalen gibt es eine Reihe von Verfahren. Erläutern Sie die Vorteile der nachfolgend betrachteten Verfahren:
 - Umwandlung in ein AM-Signal mit anschließender Hüllkurvendemodulation
 - Umwandlung in eine pulsdauermodulierte Schwingung mit nachfolgender Demodulation
 - Einsatz eines Phasenregelkreises (PLL).

5.3. Versuchsdurchführung Winkelmodulation

5.3.1. Modulatorkennlinie

Nehmen Sie die Modulatorkennlinie auf, indem Sie die Eingangsspannung in einem Bereich von ± 10 V in Schritten von 1 V verändern, und bestimmen Sie dabei die Frequenz des FM-Signals. Stellen Sie die Meßergebnisse grafisch dar, und bestimmen Sie die Modulatorkonstante.

5.3.2. Zeitverhalten des FM-Systems

1. Speisen Sie in den Eingang des FM-Modulators ein Eingangssignal mit folgenden Parametern ein: Signalform: \sim , $f = 1$ Hz und $\hat{u} = 0 \dots 10$ V. Bestimmen Sie die Funktion $u_{\text{FM}} = f(u_{\text{Ein}})$.
2. Speisen Sie in den Eingang des FM-Modulators ein Eingangssignal mit folgenden Parametern ein: Signalform: \sqcap , $f = 1$ Hz und $\hat{u} = 10$ V. Schalten Sie zusätzlich zum Oszilloskop den Frequenzzähler parallel zum Ausgang des FM-Modulators. Bestimmen Sie den Frequenzhub.
3. Speisen Sie in den Eingang des FM-Modulators ein Eingangssignal mit folgenden Parametern ein: Signalform: \sim , $f = 1 \dots 10$ Hz und $\hat{u} = 10$ V. Oszilloskopieren Sie das Ausgangssignal des FM-Modulators, und skizzieren Sie die Ergebnisse in einem Diagramm. Bestimmen Sie daraus den Frequenzhub. Welchen Einfluß hat die Eingangssignalfrequenz?
4. Verfahren Sie wie unter Punkt 3. Verwenden Sie jedoch als modulierendes Signal einen Rechteckpuls. Was beobachten Sie?

5.3.3. Spektren von FM-Signalen

Stellen Sie $F_0 = 20$ kHz ein. Speisen Sie in den FM-Modulator ein Eingangssignal mit folgenden Parametern ein: Signalform: \sim , $f = 300$ Hz und $\hat{u} = 10$ V.

1. Ermitteln Sie das FM-Spektrum im Bereich von 18...22 kHz. Stellen Sie den Verlauf des Spektrums grafisch dar, und überprüfen Sie die Richtigkeit der Meßergebnisse.
2. Wiederholen Sie die Ermittlung des Spektrums für eine Signalfrequenz von 200 Hz.
3. Bestimmen Sie die Übertragungsbandbreite aus den Messungen der Spektren. Vergleichen Sie diese Werte mit denen, die sich aus der Theorie ergeben.

4. Speisen Sie in den FM-Modulator ein Eingangssignal mit folgenden Parametern ein: Signalform: \square , $f = 200 \text{ Hz}$ und $\hat{u} = 10 \text{ V}$. Ermitteln Sie das Spektrum und vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen aus Punkt 1.

5.3.4. FM-Demodulation

Speisen Sie in den FM-Modulator ein Eingangssignal mit folgenden Parametern ein: Signalform: \sim , $f = 1000 \text{ Hz}$ und $\hat{u} = 5 \text{ V}$. Verbinden Sie den Ausgang mit dem FM-Demodulator. Wählen Sie am Schleifenfilter die Zeitkonstante τ_2 .

1. Oszilloskopieren Sie das modulierende und das demodulierte Signal, und skizzieren Sie die Signalverläufe in einem Diagramm.
2. Speisen Sie in den Eingang des FM-Modulators das VCO-Signal des Spektrumanalysators ein. Verbinden Sie den Eingang des Analysators mit dem Ausgang des FM/PM-Demodulators. Stellen Sie die Ausgangsspannung des FM/PM-Demodulators dar und interpretieren Sie das Ergebnis.
3. Wiederholen Sie die Aufgabe nach Punkt 2. mit der Zeitkonstanten τ_1 .
4. Wiederholen Sie die Aufgabe nach Punkt 2. mit der Zeitkonstanten τ_2 des Schleifenfilters unter Einbeziehung der Preemphasestufe. Beschreiben Sie ihren Einfluß.

5.3.5. Untersuchungen am PLL-Demodulator

1. Zur Untersuchung der Steuerspannung des VCO wählen Sie das Schleifenfilter mit τ_2 . Verwenden Sie ein Eingangssignal mit folgenden Parametern: Signalform: \sim , $f = 1000 \text{ Hz}$ und $\hat{u} = 5 \text{ V}$. Oszilloskopieren Sie das Eingangssignal des VCO, und skizzieren Sie die Ergebnisse. Was beobachten Sie bei der Veränderung des Eingangssignals?
2. Gehen Sie wie bei Punkt 1. vor. Oszilloskopieren Sie das Ausgangssignal des VCO und skizzieren Sie die Ergebnisse. Was beobachten Sie bei der Veränderung des Eingangssignals? Klemmen Sie das Eingangssignal ab, und bestimmen Sie die Abhängigkeit zwischen der Mittenfrequenz und dem VCO-Ausgangssignal.