Praktikum

Prof. Dr.-Ing. Erwin Riederer Kommunikationstechnik Universität der Bundeswehr München Institut für Funkkommunikation

Telekommunikation Praktikumsversuch C -Amplitudenmodulation

Stand 12.05.2020

Praktikum

INHALT

1	Einfü	ührung	3 -
	1.1	Zweck des Versuchs	3 -
2	Vork	bereitung	4 -
	2.1	Benötigte Grundlagen	4 -
	2.2	Vorbereitungsfragen	6 -
3	Duro	chführung	7 -
	3.1	Benötigte Software	7 -
	3.2	Versuchsdurchführung	7 -
4	Anh	ang	12 -
	4.1	Normierter Effektivwert	12 -
	4.2	Hinweise zur Verwendung von <i>labAlive</i>	13 -

1 EINFÜHRUNG

Um niederfrequente Nutzsignale per Funk übertragen zu können, müssen diese eine hinreichend hohe Frequenz aufweisen um mit praktikabler Antennenlänge arbeiten zu können.

Für den Menschen hörbare Nutzsignale wie Musik oder Sprache haben Frequenzen von 20Hz bis 20kHz und müssen somit für eine Funkübertragung in einen höheren Frequenzbereich verschoben werden. Eine einfache Möglichkeit dies zu tun, ist die Amplitudenmodulation (AM).

Ein AM-Modulator lässt sich wie folgt aufbauen: Zum Quellsignal q(t) wird ein Gleichanteil addiert und dieses Signal mit einer hochfrequenten Trägerschwingung multipliziert.



Abbildung 1: Aufbau eines AM-Modulators

Es gilt folgender Zusammenhang:

 $s(t) = \left[\hat{s} + q(t) \cdot k_{M}\right] \cdot \cos(\omega_{T} t)$

Die Trägerschwingung $cos(\omega t)$ wird hierfür von einem Oszillator erzeugt. Die Trägerfrequenz hängt vom gewählten Übertragungsmedium, sowie dem gewünschten, bzw. vorgeschriebenen Frequenzband ab (Kurzwelle, Ultrakurzwelle, etc.).

1.1 Zweck des Versuchs

Veranschaulichung der Amplitudenmodulation anhand einer Computersimulation und das Lösen von Fragen zur Amplitudenmodulation.

2 VORBEREITUNG

2.1 Benötigte Grundlagen

Vorlesung: "Telekommunikation", Prof. Dr. – Ing. Riederer

Der Modulationsgrad m lässt sich wie folgt bestimmen:

$$m = \frac{s_{\max} - s_{\min}}{s_{\max} + s_{\min}}$$

Die maximale und minimale Amplitude der Einhüllenden s_{max} und s_{min} wird in nachstehendem Diagramm dargestellt.

Mittels des Modulationstrapezes kann der Modulationsgrad m mit obiger Formel errechnet werden. Dabei wird die Amplitude des modulierten Signals (y-Achse) über der Amplitude des modulierenden Signals (x-Achse) aufgetragen. Dabei entsteht ein Trapez. Es kommt zu drei verschiedenen Varianten je nachdem wie groß m ist:



Abbildung 2: Unmoduliertes Nutzsignal



Abbildung 3: Sendesignal mit Modulationsgrad m<1



Abbildung 4: Sendesignal mit Modulationsgrad m=1



Abbildung 5: Sendesignal mit Modulationsgrad m>1

Die normierte Leistung des Sendesignals $S_s \left[V^2 \right]$ lässt sich wie folgt errechnen:

$S = -\frac{\hat{s}^2}{(1+a^{\circ})^2m^2}$	\hat{s} Amplitude des Trägers $ig[Vig]$
$S_s = 2 \left(1 + q_{eff} m \right)$	<i>m</i> Modulationsgrad
	${q^{\circ}}_{e\!f\!f}^{2}$ Formfaktor abhängig von der Signalform, siehe Tabelle
	"Normierter Effektivwert" im Anhang

Um eine verschiedene Modulationsverfahren miteinander vergleichen zu können wurde der Ausdruck Modulationsgewinn eingeführt. Für AM lässt er sich folgendermaßen berechnen:

$m^2 \cdot q^{\circ}_{aff}^2$	M Modulationsgewinn				
$M = \frac{1}{1 + m^2 \cdot a^{\circ}}$	<i>m</i> Molulationsgrad				
I + <i>m</i> Y eff	${q^{\circ}}_{_{e\!f\!f}}{}^2$ Formfaktor abhängig von der Signalform, siehe Tabelle				
	"Normierter Effektivwert" im Anhang				

Praktikum

2.2 Vorbereitungsfragen

- 1. Ein cosinus-förmiges Quellensignal $q(t) = 1V \cos(2\pi 10MHzt)$ wird mit einem Träger $f_{\tau} = 50MHz$, $\hat{s} = 1V$ moduliert.
 - a. Skizzieren Sie ein AM-Sendesignal mit
 - Modulationsgrad m = 1
 - Modulationsgrad m = 0,5
 - b. Skizzieren Sie ein AM-Sendespektrum für
 - Modulationsgrad m = 1
 - Modulationsgrad m = 0,5
- 2. Gegeben ist ein Träger mit einer Frequenz von 50 MHz. Das Quellensignal besitzt eine Quellsignalfrequenz $f_q = 3 MHz$ und ein $q_G = 4V$.
 - Modulatorkonstante $k_M = 0,25$
 - Trägeramplitude $\hat{s} = 1 V$
 - $q_{eff}^{\circ} = 0,577$



Abbildung 6:AM-Sendespektrum

- a. Beschriften Sie in der Skizze die Achsen und kennzeichnen Sie das USB, das LSB und den Träger.
- b. Berechnen Sie die den Modulationsgrad.
- c. Berechnen Sie die Sendeleistung $S_{\scriptscriptstyle S}$.

3 DURCHFÜHRUNG

- 3.1 Benötigte Software
 - Simulationssystem *labAlive*

3.2 Versuchsdurchführung

Starten Sie die Simulation <u>Amplitude Modulation</u>. Hinweise zur Bedienung finden Sie im Anhang: *Hinweise zur Verwendung von labAlive*.

1. Die Parameter aus Nr. 1 der Vorbereitungsfragen sind beim Start bereits voreingestellt. Den Modulationsgrad stellen Sie indirekt über die Modulatorkonstante k_{M} ein:

$$m = \frac{k_M \cdot q_G}{\hat{s}} \qquad \qquad 0 \le m \le \infty$$

Also $k_M = 1$ für $m = 1$.

Beobachten Sie das Oszilloskop und den Spektrumanalysator. Vergleichen Sie das modulierte Signal und das Spektrum mit Ihren Skizzen der Vorbereitungsfragen 1a und 1b.

- 2. Stellen Sie nun eine Quellfrequenz von $f_q = 5 MHz$ und eine Quellamplitude von $\hat{q} = 1 V$ ein. Der Modulationsgrad soll m = 2 sein. Skizzieren Sie das modulierte Signal und das Spektrum. Zeichnen Sie die Hüllkurve in das modulierte Signal ein.
- 3. Geben Sie zwei Möglichkeiten zur Demodulation an.
- 4. Berechnen Sie den Modulationsgewinn für m = 0.5, 1 und 2. ($q_{eff}^{\circ} = 0.8$, $\varphi_T = 0$).
- 5. Betrachten wir eine **AM mit Träger**. Stellen Sie die Parameter wie folgt ein, siehe auch Vorbereitungsfrage 2:
 - Quellsignalamplitude $q_G = 4 V$
 - Modulatorkonstante $k_M = 0,25$
 - Trägerfrequenz $f_T = 50 MHz$
 - Quellsignalfrequenz $f_q = 3 MHz$
 - Signalform passend zum gegebenen normierten Effektivwert der Quelle $q^\circ_{_{e\!f\!f}}=0,577$.
 - Trägeramplitude $\hat{s} = 1V$

Messen Sie die Sendeleistung $S_{\scriptscriptstyle S}$. Vergleichen Sie den Messwert mit dem berechneten aus der Vorbereitungsfrage 2c.

- 6. Betrachten wir nun eine AM ohne Träger. Stellen Sie ein:
 - Quellsignalfrequenz $f_q = 1,5 MHz$
 - Modulatorkonstante $k_M = 0,5$
 - Trägeramplitude $\hat{s} = 0V$ (Überlegen Sie an welcher Stelle Sie dies einstellen müssen!)
 - Alle anderen Einstellungen wie unter 5.

Messen Sie die Sendeleistung $\boldsymbol{S}_{\scriptscriptstyle S}$. Berechnen Sie die Sendeleistung.

Vergleichen Sie das Sendesignal im Oszilloskop mit dem aus Aufgabe 5. Wie können Sie die beiden unterscheiden?

Betrachten Sie das Sendespektrum. Es sind folgende Einstellungen am Spektrumanalyser vorzunehmen:

😰 T(f) Transmitted signal - Spectrum Analyzer 🛛 🔀							
AMPL / DIV	•	Þ	50	m∨			
FREQ / DIV	•	Þ	5	MHz			
Resolution Bandwidth	•	Þ	0.5	MHz			
Center frequency	•	Þ	25.0	MHz			
Show	Off	•		\checkmark			

Abbildung 7: Spektrumanalyser Einstellungen für Aufgaben 6 und 7.

7. Gegeben ist folgendes Sendesignal. Die Modulatorkonstante $k_M = 1$.



Abbildung 8: AM-Sendesignal

Analysieren Sie das Sendesignal und beantworten Sie folgende Fragen:

- Handelt es sich um AM mit Träger oder AM ohne Träger?
- Trägerfrequenz $f_T =$
- Quellsignalfrequenz $f_a =$
- Trägeramplitude $\hat{s} =$
- Quellsignalamplitude $q_G =$
- Modulationsgrad m =
- Normierter Effektivwert der Quelle q_{eff}° =
- Sendeleistung $S_s =$
- Modulationsgewinn (ggf. gängige Annahme treffen) $M_{_{AM}} =$
- Welche Demodulationsverfahren sind anwendbar?
- Skizzieren Sie das Spektrum des Sendesignals (mit Skalierung der Frequenz- und soweit möglich auch der Amplitudenachse).



Abbildung 9: Skizze Sendespektrum

• Skizzieren Sie das Quellensignal (mit Skalierung der Zeit- und Amplitudenachse).



Abbildung 10: Skizze Quellsignal

- Stellen Sie die ermittelten Parameter in der Simulation ein und vergleichen Sie die Ergebnisse!
- 8. Zusatzaufgabe (wenn Sie noch Zeit haben)

Generieren Sie ein AM Sendesignal mit Modulationsgrad m = 0, 8. Dieses Signal können wir dann auf einer Kurzwellenfrequenz senden und auf einem Weltempfänger anhören.

 Starten Sie die Simulation: <u>https://www.etti.unibw.de/labaliv</u> 	ve/experiment/amtransmitterrecordaudiodemo/
AM transmitter (1) - modulate audio signal and record transmit signal to file - File Run Simulation Help	labAlive
	Gain → s(l) → O §

Abbildung 11: Blockschaltbild des AM-Senders

• Selektieren Sie ggf. eine eigene Audiodatei im wav-Format (44.1khz, 16 bit, Stereo).

🕖 Signal Gen	erator - Properties		23
Amplitude	•	▶ 1.0	/
Frequency	•	▶ 10.0 H	ΗZ
Output	On	-	
Waveform	Select stereo local wav file	-	\checkmark

Abbildung 12: Eigenschaften-Dialog des Quellsignals

🛃 Select wav f	file
Suchen <u>i</u> n:	Documents
Benutzer	rdefinierte Office-Vorlagen
Dateiname:	
Da <u>t</u> eityp:	Wav audio files 🔍
	Öffnen Abbrechen

Abbildung 13: Auswahl einer eigenen wav-Datei

 Stellen Sie die Amplitude so ein, dass das AM Sendesignal einen Modulationsgrad von m = 0,8 hat. Das Multimeter Messgerät f
ür maximale Amplitude kann hier hilfreich sein:



Abbildung 14: Multimeter zur Messung der max. Amplitude

• Klicken Sie auf "Start save samples to file" um die Aufnahme zu starten.

Abbildung 15: Signal logging Dialog

- Kopieren Sie das generierte Sendesignal als Datei (am_gruppe_x.shortc) in den Dropbox Ordner.
- Bestimmen Sie q^o_{eff}² des Audiosignals. Nutzen Sie hierzu das Multimeter Messgerät für Power, Max absolute value. Messen Sie auch das Peak-to-average power ratio (PAPR), siehe <u>https://www.etti.unibw.de/labalive/experiment/paprofdm/</u>.

Wie hängen $q^{\circ}_{_{e\!f\!f}}{}^{\mathbf{2}}$ und PAPR zusammen?

😢 s(t) Transmitted signal - Multimeter							
Show	On 👻						
Meter function	Power						
	Power Average Peak-to-average power ratio Peak amplitude						

Abbildung 16: Auswahl des Messgerättyps

4 ANHANG

4.1 Normierter Effektivwert

123-Regel					
Signalform		PAPR	$q^{\circ}_{e\!f\!f}{}^2$	PAPR[dB]	$q^{\circ}_{_{e\!f\!f}}{}^2$ [dB]
Gleichspannung		1	1	0	0
Rechteck		1	1	0	0
Sinus		2	$\frac{1}{2}$	3,01	-3,01
Dreieck		3	$\frac{1}{3}$	4,77	-4,77
Sägezahn		3	$\frac{1}{3}$	4,77	-4,77
Audiosignal (Beispiel)		80	$\frac{1}{80}$	19	-19
Normierter Effektivwert $q^{\circ}_{e\!f\!f}=rac{q_{e\!f\!f}}{\hat{q}}$	Cre	st Faktor $=\frac{1}{q_{eff}^{\circ}}$	Peak-to-av	erage-power r $PR = \frac{\hat{q}^2}{q_{eff}^2} = \frac{1}{q^2}$	atio (PAPR) $\frac{1}{\frac{1}{eff}}$

4.2 Hinweise zur Verwendung von labAlive

Die Simulation lässt sich mit einem Klick auf den "Launch"-Button starten.



n the early 20th century enabled the development of simple radio receivers. The crystals capability to rectif on (AM) to become the prevalent method to send and receive information. The amplitude of a high frequen cy information signal, which is detected afterwards by rectification. AM requires only a minimum effort of stible for interferences and requires a comparatively high bandwidth.

Abbildung 17: Starten der Simulation

Nach dem Start läuft die Simulation mit einer voreingestellten Geschwindigkeit ab. Diese lässt sich mit der Taste **F3** beschleunigen und mit der Taste **F2** verlangsamen. Die Taste **Pause** stoppt den Ablauf der Simulation.

Signalform und Parameter des Einganssignals können im Properties-Dialog geändert werden.

🙆 Eingangssi	gnal - Properties		23
Amplitude	4	▶ 1.0	V
Frequency	4	▶ 2.0	MHz
Output	On	•	
Waveform	Sine	•	\checkmark

Abbildung 18: Einstellungen des Einganssignals

Durch einen Rechtsklick auf eine der Signalleitungen lassen sich verschiedene Messgeräte auswählen, um das Signal am ausgewählten Punkt zu vermessen und/oder darzustellen.



Abbildung 19: Hinzufügen von Messgeräten

Der Einstellungs-Dialog des jeweiligen Messgeräts kann über das Zahnradsymbol oder einen Rechtsklick in das Fenster des Messgeräts aufgerufen werden. Es werden anfangs nur die wichtigsten Einstellungen angezeigt. Durch einen Linksklick auf den Button mit dem nach unten gerichteten Pfeil lassen sich die restlichen Einstellungen anzeigen. (Hinweis: Oft sind zur Anzeige aller Einstellungen mehrere Klicks notwendig.)

😰 T(f) Transmitted signal - Spectrum Analyzer 🛛 🖾					
AMPL / DIV	•	۴	50	m∨	
FREQ / DIV	•	٠	0.5	MHz	
Resolution Bandwidth	•	۴	1	MHz	
Center frequency	•	۴	20.5	MHz	
Show	Off	•			

Abbildung 20: Einstellungen für das gewählte Messgerät

Eine detaillierte Hilfe ist online unter folgender Adresse zu finden:

https://www.etti.unibw.de/labalive/manual/