

Facharbeit aus der Physik

Amplituden- und Frequenzmodulation

Verfasser: Peter Seibold
Leistungskurs: Physik
Kursleiter:
Abgabetermin: 26. Januar 2007

Bewertung der Facharbeit:
erzielte Punkte: in Worten:

Mündliche Prüfung:
erzielte Punkte: in Worten:

.....
(Unterschrift des Kursleiters)

VERWENDETE FORMELZEICHEN.....	3
1. MODULATION ELEKTROMAGNETISCHER WELLEN IM ALLTAG....	4
2. MODULATION	4
2.1. Amplitudenmodulation.....	5
2.1.1. Zeitfunktion	5
2.1.2. Modulationsgrad	5
2.1.3. Graphische Darstellung	6
2.2. Frequenzmodulation.....	7
2.2.1. Winkelmodulation, Unterscheidung in Frequenz- und Phasenmodulation	7
2.2.2. Zeitfunktion der Winkelmodulation.....	7
2.2.3. Momentanfrequenz	8
2.2.4. Graphische Darstellung	9
3. SENDER.....	10
3.1. Schaltplan	10
3.2. Funktionsweise	11
3.2.1. Ungedämpfter und gedämpfter Schwingkreis	11
3.2.2. Hartley-Oszillator	11
3.2.3. Amplitudenmodulation.....	12
3.2.4. Frequenzmodulation	12
3.3. Hinweise zum Umgang mit dem Gerät	13
3.3.1. Teilebezeichnung	13
3.3.2. Verwendung.....	13
4. ERGEBNISSE DER PRAKTISCHEN ARBEIT.....	14
4.1. Versuchsaufbau.....	14
4.2. Bestimmung der Eigenfrequenz	15
4.3. Amplitudenmodulation.....	15
4.4. Frequenzmodulation.....	16
5. EINFACH UND DOCH SO KOMPLIZIERT	17
LITERATURVERZEICHNIS.....	18

Verwendete Formelzeichen

$\hat{u}_T(t)$	Amplitude des modulierten Träger
\hat{u}_T	Amplitude des unmodulierten Träger
$u_M(t)$	modulierendes Nutzsignal
$u_T(t)$	Trägerschwingung
ω	Kreisfrequenz des Trägers
t	Zeit
$u_{AM}(t)$	amplitudenmodulierte Schwingung
\hat{u}_M	Amplitude des modulierenden Nutzsignals
ω_M	Kreisfrequenz des Nutzsignals
m	Modulationsgrad
$u_H(t)$	Hüllkurve
$\varphi_T(t)$	zeitproportionaler Phasenwinkel der Trägerschwingung
f_T	Frequenz der Trägerschwingung
T_T	Periodendauer der Trägerschwingung
$\varphi_{WM}(t)$	Momentanphasenwinkel der winkelmodulierten Schwingung
$\varphi_{Tw}(t)$	Wechselanteil des Momentanphasenwinkels
$\Delta\varphi_T$	Phasenhub
$u_{WM}(t)$	winkelmodulierte Schwingung
ω	Winkelgeschwindigkeit
f	Frequenz
$f_{WM}(t)$	Momentanfrequenz der winkelmodulierten Schwingung
$f_{Tw}(t)$	Wechselanteil der Momentanfrequenz
Δf_T	Frequenzhub
f_M	Frequenz des modulierenden Signals
f_0	Eigenfrequenz des Schwingkreises
L	Induktivität der Spule
C_{ges}	Gesamtkapazität = Kondensator + Kapazitätsdiode

1. Modulation elektromagnetischer Wellen im Alltag

Ein Leben ohne drahtlose Nachrichtenübertragung wäre in der heutigen Zeit wohl kaum mehr vorstellbar. Für Millionen von Menschen ist ihr Handy ein unverzichtbarer Begleiter. Sie telefonieren drahtlos über Satelliten von einem Kontinent zum anderen, als würden ihre Gesprächspartner gerade neben ihnen stehen. Wer würde schon gerne auf die Vorteile von Wireless LAN verzichten, wie z.B. auf die Möglichkeit überall im Haus ins Internet zu gehen, seine Lieblingsfilme und Musik ganz einfach vom lauten PC ins gemütliche Wohnzimmer zu übertragen oder noch schnell auf dem Weg zur Arbeit im Zug die e-Paper Ausgabe einer Tageszeitung zu lesen. Oder seien es doch nur so einfach erscheinende Dinge, wie ein Radio oder ein Fernseher mit Antennen- bzw. Satellitenempfang, all diese Sachen wären ohne die Modulation von elektromagnetischen Wellen nicht möglich.

2. Modulation

Die Modulation beschreibt in der Nachrichtenübertragung die Umsetzung eines Nachrichtensignals in ein für die Übertragung geeignetes Frequenzband. Nur so ist z.B. die Funkübertragung über eine Antenne möglich, denn eine wirkungsvolle Antenne muss mindestens die Länge einer Viertelwellenlänge haben und wäre somit für eine direkte Abstrahlung eines Sprachsignals viel zu groß.

Die Umsetzung erfolgt durch die Veränderung eines Parameters eines hochfrequenten Trägersignals entsprechend dem Verlauf des zu übertragenden Signals (Nutzsignal). Bei der Amplitudenmodulation wird die Information des Nutzsymbols in der Amplitude der Trägerschwingung abgebildet und bei den beiden Winkelmodulationsarten Frequenz- und Phasenmodulation in der Frequenz bzw. Phase des Trägers. Alle anderen analogen Modulationstechniken bauen auf diesen auf.

Des Weiteren gibt es noch verschiedenste digitale Modulationsverfahren, die aufgrund ihrer Übertragung von diskreten Werten zu diskreten Zeitpunkten die Kompensation von kleineren Übertragungsfehlern erlauben. Eine genauere Beschreibung der digitalen Modulation würde über das Thema dieser Arbeit hinausgehen.

2.1. Amplitudenmodulation

Durch die Veränderung der Amplitude einer Trägerschwingung proportional zu den Momentanwerten eines niederfrequenten Nutzsignals erhält man eine amplitudenmodulierte Schwingung.

2.1.1. Zeitfunktion

Nimmt man zu der oben genannte Beziehung zwischen Träger und Nutzsinal

$$\hat{u}_T(t) = \hat{u}_T + u_M(t) \quad (1.1)$$

eine Trägerschwingung

$$u_T(t) = \hat{u}_T \cdot \cos(\omega t) \quad (1.2)$$

an, so ergibt sich für die amplitudenmodulierte Schwingung

$$u_{AM}(t) = \hat{u}_T(t) \cdot \cos(\omega t) = (\hat{u}_T + u_M(t)) \cdot \cos(\omega t). \quad (1.3)$$

Für eine sinusförmige Schwingung als modulierendes Signal

$$u_M(t) = \hat{u}_M \cdot \cos(\omega_M t) \quad (1.4)$$

folgt aus Gleichung (1.3) für die amplitudenmodulierte Schwingung

$$u_{AM}(t) = (\hat{u}_T + \hat{u}_M \cdot \cos(\omega_M t)) \cdot \cos(\omega t). \quad (1.5)$$

2.1.2. Modulationsgrad

Klammert man in Gleichung (1.5) die Amplitude des unmodulierten Trägers \hat{u}_T aus

$$u_{AM}(t) = \hat{u}_T \cdot \left(1 + \frac{\hat{u}_M}{\hat{u}_T} \cdot \cos(\omega_M t) \right) \cdot \cos(\omega t) \quad (1.6)$$

kann man das Verhältnis

$$m = \frac{\hat{u}_M}{\hat{u}_T}, \quad (1.7)$$

den so genannten Modulationsgrad ablesen. Er drückt aus, wie stark die Amplitude der Trägerschwingung vom Nutzsinal beeinflusst wird. Eine sinnvolle Modulation ist nur bei $0 < m < 1$ gewährleistet, da bei $m = 0$ der unmodulierte Träger übertragen werden würde und es bei $m > 1$ zu einer Übermodulation kommen würde. Eine Übermodulation hätte zur Folge, dass das zu übertragende Signal gar nicht mehr oder nur noch stark verzerrt empfangen werden könnte.

2.1.3. Graphische Darstellung

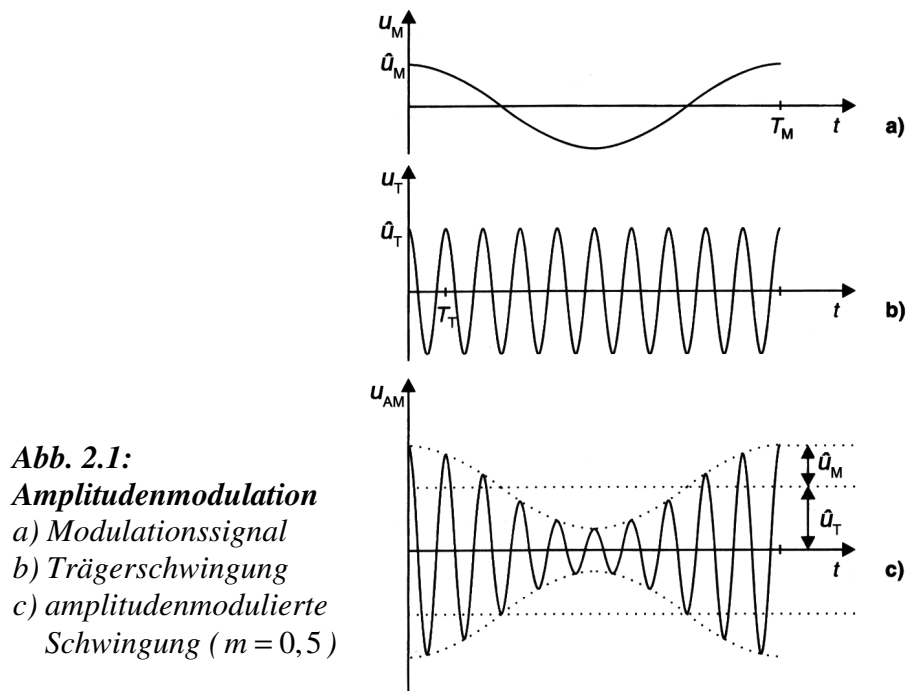


Abb. 1.1 stellt die modulierende Signalschwingung $u_M(t)$, die unmodulierte Trägerschwingung $u_T(t)$ und die amplitudenmodulierte Schwingung $u_{AM}(t)$ für einen Modulationsgrad $m = 0,5$ in ihrem zeitlichen Verlauf graphisch dar.

Die gepunktete Schwingung im Graph *c*) der der Abb. 1.1 wird als Einhüllende oder Hüllkurve bezeichnet und lässt sich mit den Gleichungen (1.6) und (1.7) folgendermaßen beschreiben

$$u_H(t) = \hat{u}_T \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega_M t)). \quad (1.8)$$

Sie entspricht dem Zeitverlauf der modulierenden Signalschwingung.

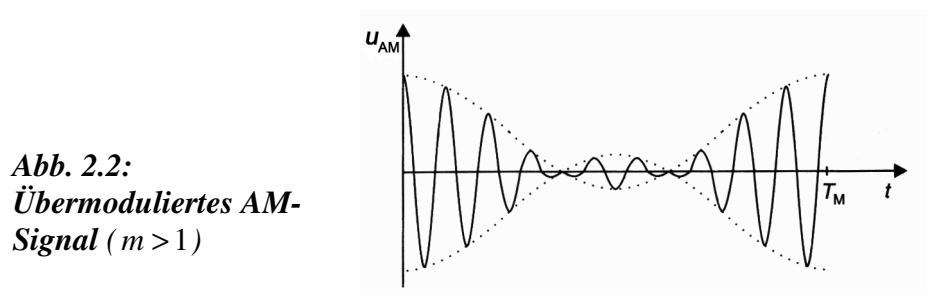


Abb. 1.2 zeigt eine Übermodulation mit einem Modulationsgrad $m > 1$. In diesem Fall stimmen Hüllkurve und modulierendes Signal nicht mehr überein und die Information kann aus dem modulierten Signal nicht mehr zurück gewonnen werden.

2.2. Frequenzmodulation

Wird die Momentanfrequenz eines Trägers in Abhängigkeit einer modulierenden Schwingung verändert, erhält man ein frequenzmoduliertes Signal.

2.2.1. Winkelmodulation, Unterscheidung in Frequenz- und Phasenmodulation

Weil gleichzeitig auch der Phasenwinkel der Trägerschwingung beeinflusst wird, fasst man die Frequenz- und Phasenmodulation unter dem Begriff Winkelmodulation zusammen. Eine Unterscheidung der beiden Winkelmodulationsverfahren ist bei einfacher Betrachtung des Modulationsprodukts gar nicht möglich, dennoch wird im Allgemeinen in Frequenz- und Phasenmodulation unterschieden. Als Unterscheidungsmerkmal dient die technische Erzeugung der winkelmodulierten Schwingung, d.h. ob primär die Frequenz oder die Phase der Trägerschwingung beeinflusst wurde.

2.2.2. Zeitfunktion der Winkelmodulation

Als Träger wird wieder eine sinusförmige Schwingung angenommen

$$u(t) = \hat{u}_T \cdot \cos(\omega t). \quad (2.1)$$

Die Größe, die bei der Winkelmodulation verändert wird, ist der Phasenwinkel

$$\varphi_T(t) = \omega t = 2\pi \cdot f_T \cdot t. \quad (2.2)$$

Ist die Frequenz f_T der Trägerschwingung konstant, wächst der Phasenwinkel $\varphi_T(t)$ proportional mit der Zeit an und überstreicht während einer Periodendauer T_T der Trägerschwingung einen Phasenwinkel von 2π .

Wird nun der Trägerphasenwinkel vom modulierenden Signal beeinflusst, wird im Modulationsprodukt der Phasenwinkel $\varphi_T(t)$ ersetzt durch den vom Modulationssignal abhängigen Phasenwinkel $\varphi_{WM}(t)$, welcher sich aus dem zeitproportionalen Anteil $\varphi_T(t)$ und dem vom Signal abhängigen Wechselanteil $\varphi_{TW}(t)$ zusammensetzt.

$$\varphi_{WM}(t) = \varphi_T(t) + \varphi_{TW}(t) = \omega t + \Delta\varphi \cdot \cos(\omega t). \quad (2.3)$$

Der Phasenhub $\Delta\varphi_T$ gibt die maximale Änderung des Phasenwinkels $\varphi_{WM}(t)$ gegenüber dem Trägerphasenwinkel $\varphi_T(t)$ an. Er ist proportional zur Amplitude \hat{u}_M des modulierenden Signals. Aus Gleichung 2.1 und 2.3 ergibt sich die Zeitfunktion der winkelmodulierten Schwingung

$$u_{WM}(t) = \hat{u}_T \cdot \cos(\omega_T \cdot t + \Delta\varphi_T \cdot \cos(\omega_M t)). \quad (2.4)$$

2.2.3. Momentanfrequenz

Aus dem allgemein gültigen Zusammenhang zwischen Winkelgeschwindigkeit ω und dem durchlaufenen Phasenwinkel φ

$$\omega = \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad (2.5)$$

berechnet sich nach der Gleichung

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega \quad (2.6)$$

die Momentanfrequenz $f_{WM}(t)$ der winkelmodulierten Schwingung folgendermaßen

$$f_{WM}(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\varphi_{WM}(t)}{dt}. \quad (2.7)$$

Da $\frac{d\varphi_{WM}(t)}{dt}$ die Ableitung nach der Zeit der Gleichung 2.3 ist, lässt sich 2.7

umformen zu

$$\begin{aligned} f_{WM}(t) &= \frac{1}{2\pi} \cdot (\omega_T + \Delta\varphi_T \cdot (-\sin(\omega_M t)) \cdot \omega_M) = \\ &= f_T - \Delta\varphi_T \cdot f_M \cdot \sin(\omega_M t) = f_T - \Delta f_T \cdot \sin(\omega_M t). \end{aligned} \quad (2.8)$$

Die Momentanfrequenz $f_{WM}(t)$ besteht also aus dem konstanten Anteil f_T der Trägerschwingung und dem Wechselanteil $f_{TW}(t)$, nach Gleichung 2.8

$$f_{TW}(t) = \Delta f_T \cdot (-\sin(\omega_M t)) \quad (2.9)$$

Durch den Differenziervorgang bei Gleichung 2.7 besteht also eine Phasenverschiebung von $\frac{\pi}{2}$ zwischen der kosinusförmigen Phasen- und der sinusförmigen Frequenzänderung.

Die maximale Änderung der Frequenz, der Frequenzhub Δf_T , ist nach Gleichung 2.8

$$\Delta f_T = \Delta\varphi_T \cdot f_M. \quad (2.10)$$

2.2.4. Graphische Darstellung

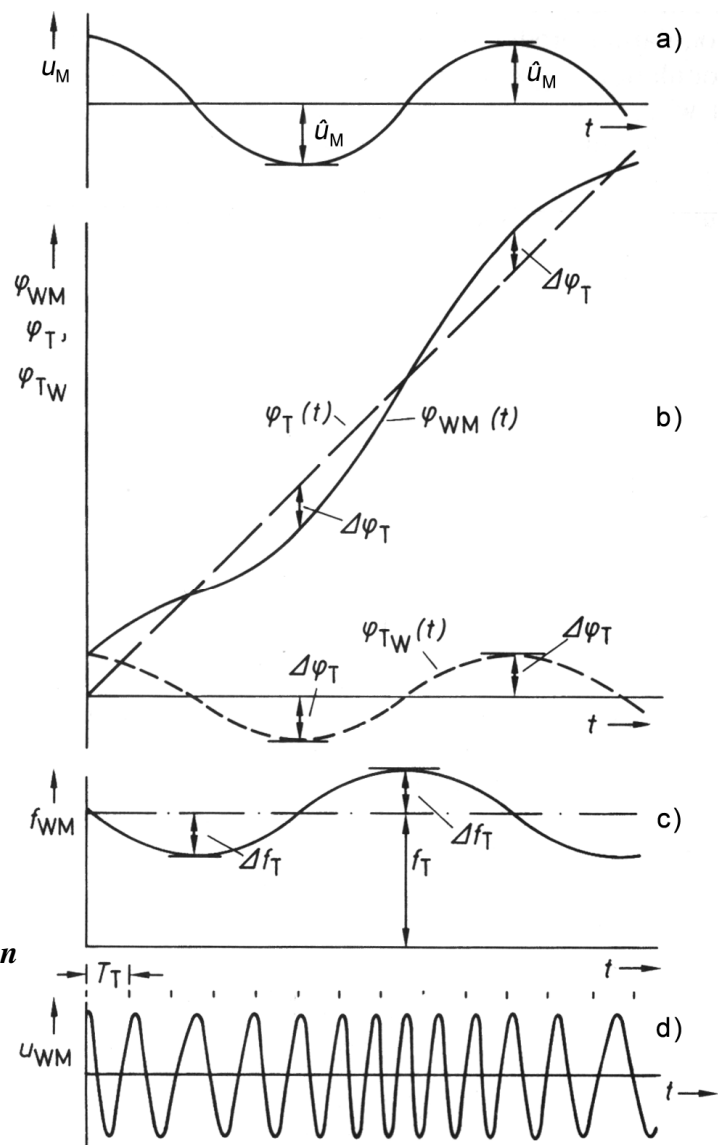


Abb. 2.3: Winkelmodulation

- a) Modulationssignal
- b) Phasenverlauf
- c) Frequenzverlauf
- d) Moduliertes Signal

Im Graph *b)* der Abb. 2.3 sind die verschiedenen für die Winkelmodulation relevanten Phasenwinkel in Abhängigkeit der Zeit dargestellt. Man erkennt sehr gut die Proportionalität des Phasenhubes $\Delta\varphi_T$ zur Amplitude \hat{u}_M des Modulationssignals und wie durch ihn der ursprünglich konstante Anstieg des Phasenwinkels der Trägerschwingung $\varphi_T(t)$ verändert wird, so dass sich der Verlauf des Phasenwinkels $\varphi_{WM}(t)$ der winkelmodulierten Schwingung ergibt.

Beim Vergleich der Graphen *c)* und *b)* sieht man die Phasenverschiebung um $\frac{\pi}{2}$ zwischen Phasen- und Frequenzverlauf.

3. Sender

Die verwendete Schaltung ist ein einfacher, ungedämpfter Oszillator, der als Sender für den Frequenzbereich der Kurzwellen, von 3 MHz bis 30 MHz, geeignet ist. Er lässt sich über den Anschluss einer Niederfrequenzquelle wahlweise amplituden- oder frequenzmodulieren. Diese Vorgänge können über ein an den Schwingkreis gekoppeltes Oszilloskop sichtbar gemacht werden.

3.1. Schaltplan

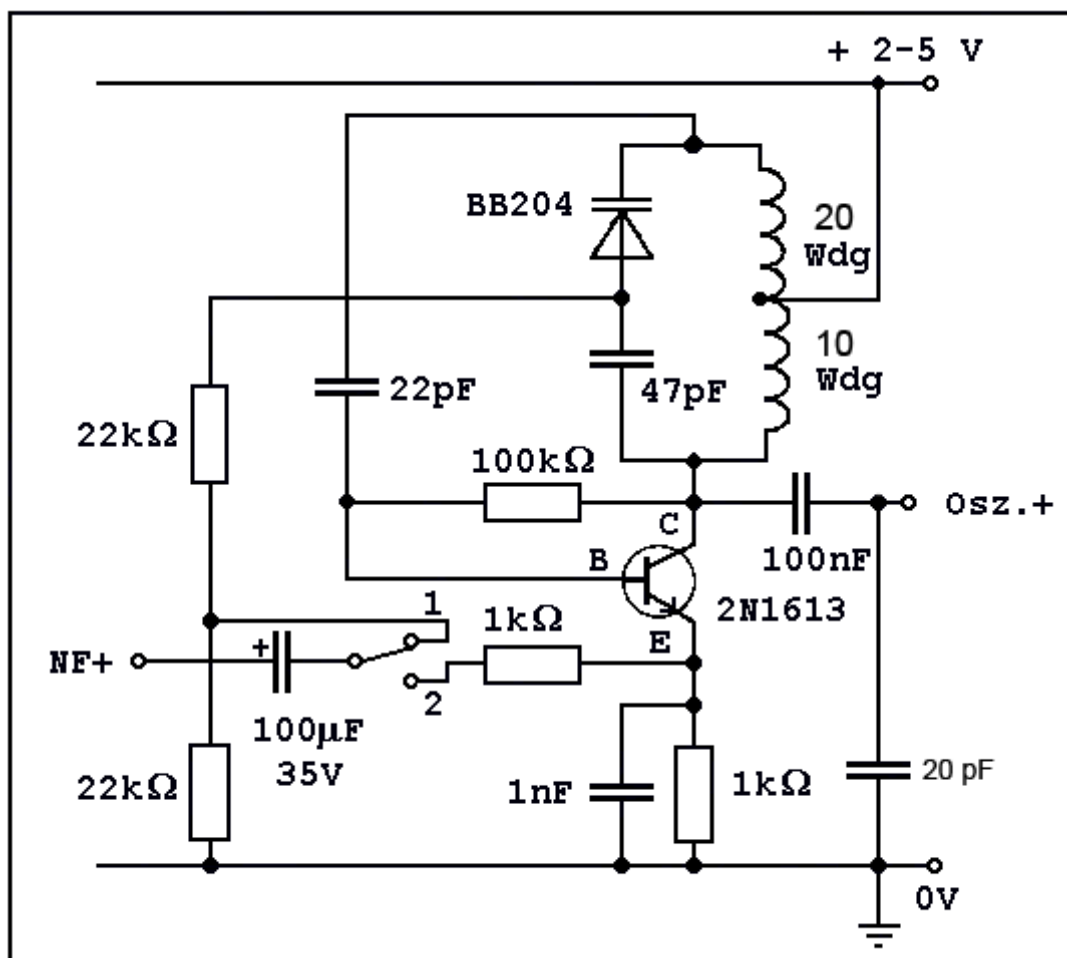


Abb. 3.1:
Schaltplan des
verwendeten Senders

3.2. Funktionsweise

3.2.1. Ungedämpfter und gedämpfter Schwingkreis

Ein elektrischer Schwingkreis besteht prinzipiell nur aus zwei Bauteilen, aus einer Spule und einem Kondensator. Einmal durch Energiezufuhr angeregt, würde ein ungedämpfter Schwingkreis durch den ständigen Wechsel des Speicherorts der Energie vom elektrischen Feld des Kondensators in das magnetische Feld der Spule ewig schwingen. Bei jedem realen Schwingkreis tritt aber die so genannte Dämpfung auf, d.h. die Amplitude einer nur durch einen Impuls angeregten Schwingung geht durch kontinuierlichen Energieverlust mit jeder Schwingung zurück, bis sie schließlich Null erreicht. Ursachen für den ständigen Energieverlust des Schwingkreises sind z.B. die Wärmeentwicklung an allen realen Bauteilen durch ihren ohmschen Widerstand oder die Abstrahlung von elektromagnetischer Energie in den Raum. Um eine konstante Schwingung zu erzeugen, muss man diesen Energieverlust durch erneute Zuführung der notwendigen Energie im richtigen Zeitpunkt kompensieren.

3.2.2. Hartley-Oszillator

Im verwendeten Aufbau wird die Schwingung durch einen induktiven Dreipunktoszillator, auch Hartley-Oszillator genannt, in Emitterschaltung entdämpft. Die Regelspannung für die Verstärkung wird wie bei der klassischen Meißnerschaltung induktiv gewonnen, allerdings nicht mit einer zweiten Spule, sondern mit Hilfe einer Anzapfung der Schwingkreisspule. Durch die Selbstinduktion in der zweigeteilten Spule wird der 22pF Kondensator geladen wodurch eine Spannung an der Basis des Transistors anliegt, was bei richtiger Polung der Spannung einen Stromfluss zwischen Kollektor und Emitter ermöglicht. Es kann also wieder Strom von der Versorgungsspannung in den Schwingkreis fließen. Der Schwingkreis ist in Emitterschaltung, weil der Transistor emitterseitig mit Masse verbunden ist.

3.2.3. Amplitudenmodulation

Bevor das Signal der Niederfrequenzquelle über den Schalter einem der beiden Modulationsverfahren zugeschaltet wird, werden durch den 100µF Elektrolytkondensator eventuell vorhandene Gleichspannungsanteile herausgefiltert. Steht der Schalter in Stellung zwei, so ist die NF-Signalspannung über den 1kΩ Widerstand mit dem Emitter des Transistors verbunden und ändert das dort anliegende Potential. Durch die Potentialänderung des Emitters wird der über den Kollektor in den Schwingkreis fließende Strom und damit auch die Spannung im Schwingkreis amplitudenmoduliert.

3.2.4. Frequenzmodulation

In Schalterstellung eins kann der Schwingkreis frequenzmoduliert werden. Dazu besteht der Schwingkreis nicht nur aus einem Kondensator und einer Spule, sondern zusätzlich noch aus einer Kapazitätsdiode. Ändert man die Spannung, die an einer Kapazitätsdiode anliegt, so ändert sich ihre Kapazität. Es wird nun die Spannung des NF-Signals über die beiden 22kΩ Widerstände an die Kapazitätsdiode angelegt, somit ändert sich die Gesamtkapazität des Schwingkreises und nach

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{ges}}} \quad (3.1)$$

auch die Eigenfrequenz des Schwingkreises. Der Schwingkreis wird somit abhängig von der Signalspannung frequenzmoduliert.

3.3. Hinweise zum Umgang mit dem Gerät

3.3.1. Teilebezeichnung

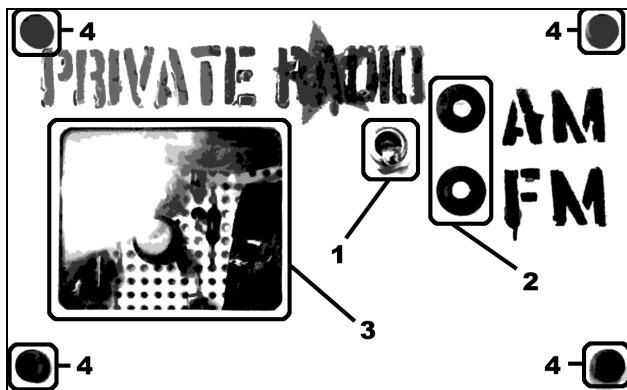


Abb. 3.2: Frontplatte

[1] Schalter zur Einstellung des Modulationsverfahren

[2] LEDs zur Statusanzeige

[3] Sichtfenster auf den Schwingkreis

[4] Innensechskantschrauben zur Befestigung der Frontplatte am Gehäuse

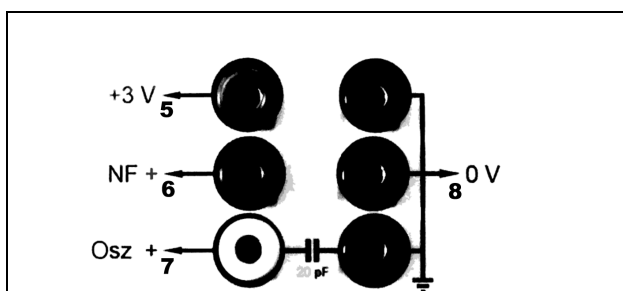


Abb. 3.3: Anschlüsse auf der Rückseite

[5] +3 V Versorgungsspannung

[6] Niederfrequenzeingang

[7] Hochfrequenz Ausgang

[8] 0 V Anschlüsse für alle verwendeten Geräte

3.3.2. Verwendung

Der Schalter [1] ermöglicht die Auswahl des Modulationsverfahrens. Ist er nach oben gekippt, so wird die Trägerschwingung durch das NF-Signal amplitudenmoduliert, ist er nach unten gekippt wird frequenzmoduliert. Zusätzlich wird die eingestellte Modulationsart über zwei LEDs [2] angezeigt, die obere, rote LED leuchtet bei Amplitudenmodulation, die untere, grüne bei Frequenzmodulation. Der Ausschnitt [3] in der Frontplatte gewährt einen Blick auf den Schwingkreis, um die praktische Umsetzung und Kompaktheit der Schaltung zu demonstrieren.

Die verwendeten Anschlussbuchsen sind Standard 4mm Laborbuchsen. An der roten Buchse [5] werden +3 V Gleichspannung zur Versorgung angeschlossen. Es ist zu vermeiden, dass die Schaltung über einen längeren Zeitraum mit Spannungen jenseits von 3 V betrieben wird, da dies zu Schäden führen könnte. Die grüne Buchse [6] ist der Eingang für das modulierende NF-Signal. Will man die unmodulierte

Eigenfrequenz des Schwingkreises untersuchen, wird dieser Anschluss frei gelassen. Der Ausgang, der vom Sender erzeugten Hochfrequenzschwingung, ist die weiße Buchse [7]. Vorzugsweise wird hier zur Darstellung der Vorgänge im Sender ein Oszilloskop angeschlossen. An die schwarzen Buchsen [8], die alle den gemeinsamen 0 V Anschluss nach außen führen, werden die negativen Pole der verwendeten Geräte angeschlossen. Die im Anschlussplan eingezeichnete Erdung findet natürlich nicht innerhalb des Senders statt, sondern der Schwingkreis muss über eines der externen Geräte geerdet werden.

Beim Betrieb des Senders ist zu Beachten, dass dieser, obwohl keine Antenne angeschlossen ist, elektromagnetische Wellen im Kurzwellenbereich abstrahlt. Damit keine Gefahr besteht, dass diese den Funkverkehr stören, sollte man alle Fenster des Versuchsraums schließen und den Sender nur kurzzeitig betreiben.

4. Ergebnisse der praktischen Arbeit

4.1. Versuchsaufbau

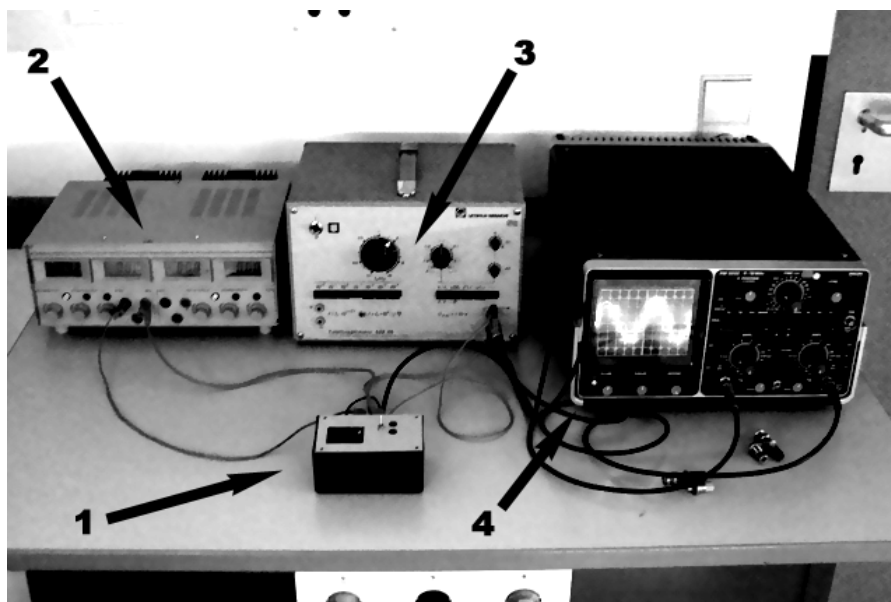


Abb. 4.1: Versuchsaufbau

[1] Sender

[2] Labornetzgerät

[3] Frequenzgenerator

[4] Oszilloskop

4.2. Bestimmung der Eigenfrequenz

Theoretisch könnte man die Eigenfrequenz eines elektromagnetischen Schwingkreises mit der Thomson-Gleichung (Gleichung 3.1) rechnerisch bestimmen. Da die Eigenschaften der verwendeten Kapazitätsdiode aufgrund fehlender Datenblätter nicht bekannt sind, ist diese Art der Bestimmung leider nicht möglich. Die Eigenfrequenz kann in diesem Fall also nur experimentell nachgemessen werden. Für diese Messung wird der im Versuchsaufbau gezeigte Frequenzgenerator nicht an den Sender angeschlossen. Am Oszilloskop zeigt sich bei einer Einstellung von $0,2\mu\text{s}/\text{cm}$ für die Zeitachse folgendes Bild:

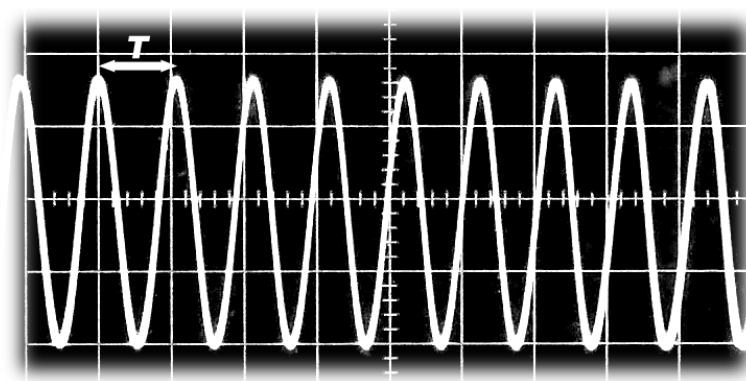


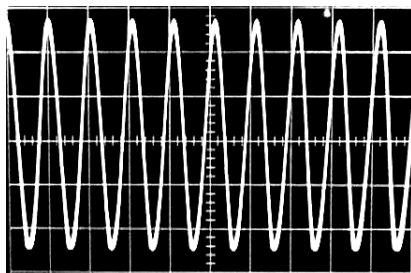
Abb. 4.2:
*unmodulierte
Trägerschwingung*

Eine Periodendauer hat auf dem Schirm den Abstand $1,1\text{cm}$. Die Frequenz kann damit bestimmt werden:

$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{1,1\text{cm} \cdot 0,2 \frac{\mu\text{s}}{\text{cm}}} = \frac{1}{0,22\mu\text{s}} = 4,5\text{MHz} \quad (4.1)$$

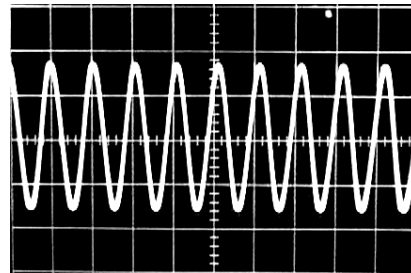
Die Frequenz liegt wie erwartet im KW-Bereich.

4.3. Amplitudenmodulation



a)

Abb. 4.3:
Amplitude
a) $t=0\text{s}$
b) $t=0,24\text{s}$



b)

Bei der Aufnahme dieser Bilder vom Bildschirm des Oszilloskop wurde der Sender mit folgenden Werten betrieben:

\hat{u}_T	\hat{u}_M	m	f_0	f_M
2V	1V	0,5	4,5MHz	2Hz

Mit diesen Werten, eingesetzt in Gleichung 1.6, lässt sich die Amplitude der modulierten Schwingung berechnen. In dieser Tabelle sind die errechneten und gemessenen Werte der Amplitude zu den beiden Zeitpunkten eingetragen:

t	0s	0,24s
$u_{AM}(t)$ Rechnung	3V	1.5V
$u_{AM}(t)$ Messung	2,8V	1.8V

Wenn man in Betracht zieht, durch wie viele Ursachen die Genauigkeit der Amplitudenmessung mit dem Oszilloskop beeinträchtigt wurde, sind die Werte der Messung gar nicht so schlecht. Einige Ursachen für ein verfälschtes Messergebnis wären z.B. die ungenaue Einstellungsmöglichkeit der Amplitude des Modulationssignals am Frequenzgenerator, die Instabilität der eingestellten Spannung am Netzgerät und vor allem der Einfluss der Position des Senders bzgl. des Oszilloskops. Größere Veränderungen der Position beeinflussten die gemessene Amplitude um mehr als 1V.

4.4. Frequenzmodulation

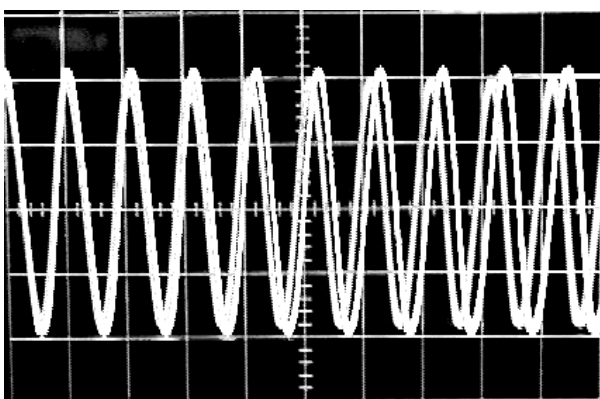


Abb. 4.4: Frequenzmodulation

Abb. 4.4 zeigt eine frequenzmodulierte Welle zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Die beiden Schwingungen sind übereinander abgebildet, um die Änderung der Schwingungsdauer T_T deutlich sichtbar zu machen. Die Änderung ist allerdings im

Bereich von wenigen Nanosekunden pro Periode. Der daraus resultierende Frequenzhub ist so klein, dass Rechnungen mit den gemessenen Werten wenig Sinn machen, da eine Ungenauigkeit der Messung mehr Einfluss auf das Ergebnis hätte als die eigentliche Modulation. Deshalb verzichte ich bei der Frequenzmodulation auf eine genauere Berechnung und belasse es bei der einfachen Demonstration. Bei genauerem Betrachten der Abb. 4.4 kann man auch eine Amplitudenmodulation der beiden dargestellten Wellen feststellen, diese ist allerdings sehr gering und sollte das Prinzip der Frequenzmodulation nicht beeinflussen.

5. Einfach und doch so kompliziert

Bei der Vergabe der Facharbeitsthemen war ich eigentlich recht froh über meine Errungenschaft. Radiosender haben mich schon vorher interessiert und ich wusste, dass die Schaltungen nicht allzu kompliziert sind. Ich habe dann auch eine ideale Lösung gefunden, ein Sender der sowohl amplituden- als auch frequenzmoduliert werden konnte. Der Aufbau der Schaltung war eigentlich kein wirkliches Problem, ein verdrehter Transistor und eine nicht funktionierende Kopplung an das Oszilloskop haben zwar aufgehalten, waren aber nicht weiter tragisch. Und jetzt steht neben mir ein nur 10cm x 5cm großes Kästchen, dessen Inhalt aus ca. 15 einfachen Bauteilen besteht und ich stelle fest, der Umfang einer Facharbeit reicht bei weitem nicht aus um die Vorgänge in dieser Schaltung vollkommen zu beschreiben. Deshalb stellt diese Arbeit in keinster Weise Anspruch auf Vollständigkeit, denn die Theorie hinter diesem „einfachen“ Gerät ist schlichtweg viel zu kompliziert und das Thema Amplituden- und Frequenzmodulation füllt in seiner ausführlichen Form komplette Bücher.

Literaturverzeichnis

- Brosch, Herbert: Oszillatoren und Kleinsender. Stuttgart 1989, Seiten 20-31
- Götz, Rainer: Handbuch des Physikunterrichts Sekundarbereich I Band 6: Elektrizitätslehre II/Elektronik. Köln 1996, Seite 291
- Hammer/Hammer: Physikalische Formeln und Tabellen 8. Auflage. München 2004, Seite 18
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Amplitudenmodulation> 31.12.2006
- http://de.wikipedia.org/wiki/Modulation_%28Technik%29 31.12.2006
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Schwingkreis> 17.01.2007
- <http://www.chemiephysikskripte.de/radio/radio.htm> 31.10.2006
- Mäusl, Rudolf: Analoge Modulationsverfahren 2., bearbeitete Auflage. Heidelberg 1992, Seiten 3-5, 32, 33, 87-89
- Pehl, Erich: Digitale und analoge Nachrichtenübertragung 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg 2001, Seiten 79-81, 113-115
- Pietsch, Hans-Joachim: Kurzwellen-Amateurfunktechnik 2., verbesserte Auflage. München 1984, Seite 196

Zu dieser Facharbeit gehört ein Sender in einem Gehäuse, das mit meinem Namen gekennzeichnet ist. Dieser Sender wurde zusammen mit der Facharbeit abgegeben.

Ich versichere, dass ich diese Arbeit selbstständig gefertigt habe. Die verwendete Literatur habe ich vollständig angegeben.

.....

(Peter Seibold)