

**Facharbeit**  
aus dem Fach

Physik

Thema: Modulation hochfrequenter Schwingungen

Verfasser: Matthias Reindl

Leistungskurs: 3PH0

Kursleiter: StR Hungerhuber

Abgabetermin: 25.01.2008

**Schriftliche Prüfung:**

Erzielte Note: .....

Erzielte Punkte: .....

**Mündliche Prüfung:**

Erzielte Note: .....

Erzielte Punkte: .....

-----  
Unterschrift des Kursleiters

<b>A. EINFÜHRUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>B. MODULATIONSVERFAHREN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Amplitudenmodulation .....</b>	<b>3</b>
1.1 Funktionsprinzip.....	4
1.2 Mathematische Behandlung .....	5
1.3 Modulationsgrad .....	6
1.4 Bandbreite.....	8
1.5 Wirkungsgrad.....	9
1.6 Realisierung der Modulation .....	9
1.7 Demodulation.....	10
<b>2. Frequenzmodulation.....</b>	<b>11</b>
2.1. Funktionsprinzip.....	12
2.2 Bandbreite und Modulationsindex .....	13
2.3 Zusammenhang Frequenzmodulation – Phasenmodulation.....	14
2.4 Realisierung der Modulation .....	15
2.5 Realisierung der Demodulation .....	16
<b>3.Vergleich .....</b>	<b>17</b>
<b>C. BAU EINER MEIßNERSCHALTUNG .....</b>	<b>17</b>
<b>1.Schaltung.....</b>	<b>17</b>
1.1 Komponenten .....	17
1.2. Funktionsweise .....	19
<b>D. AMPLITUDENMODULATOR.....</b>	<b>20</b>
<b>E. SCHLUSS UND DANKSAGUNG.....</b>	<b>21</b>
<b>F. ANHANG .....</b>	<b>22</b>
<b>1. Bedienungsanleitung des Modulators.....</b>	<b>22</b>
<b>2. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>22</b>
2.1 Internetseiten .....	22
2.2 Literatur.....	23
<b>3. Bilder .....</b>	<b>23</b>
<b>4.Selbstständigkeitserklärung.....</b>	<b>24</b>

## **A. Einführung**

Der Begriff der Modulation kommt aus dem Lateinischen. Er wird vom Wort „modulatio“ abgeleitet. Das bedeutet soviel wie Melodie oder Rhythmus. Mit dem Rauchzeichen wandten schon die Indianer eine Art von Modulation an. Auch damals wurden die Rauchwolken nur als Träger benutzt, die eine bestimmte Information mit sich brachten. Derjenige, der das Signal empfangen hatte, war in der Lage, die Information wieder aus dieser Wolke zu lesen. Dieses Lesen der Information würde man heute die Demodulation nennen. Natürlich gibt es in unserer modernen Zeit weit fortgeschrittenere Methoden der Modulation, doch das Prinzip bleibt das Gleiche: Man versucht durch einen Träger eine bestimmte Information auch auf längere Distanzen zu übermitteln, sodass es dem Empfänger ermöglicht wird, diese Information zu lesen. So kann man zum Beispiel einen Radiomoderator vielleicht noch in seinem Studio oder, falls er laut schreit, auch noch etwas außerhalb dieses Studios verstehen. Versucht man seine Stimme aber aus 50 oder 100 km Entfernung zu hören, so wird man dies nicht mehr schaffen. Der Grund für diese Tatsache ist, dass Schallwellen eine Dämpfung durch die Materie erfahren, die eine Strahlung über weitere Strecken verhindert. Damit man den Moderator aber auch in größeren Distanzen noch verstehen kann, muss man seine Stimme auf einen so genannten Träger aufmodulieren. Das heißt, dass durch bestimmte technische Vorgänge, die im Folgenden erklärt werden, das Signal einen Träger bekommt, der die Information auch über weitere Strecken übermitteln kann. Ich habe mir für meine Facharbeit die zwei wichtigsten Arten der Informationsübertragung – kurz Modulation - herausgesucht.

## **B. Modulationsverfahren**

### **1. Amplitudenmodulation**

Die Amplitudenmodulation kann als erste Variante herangezogen werden. Sie wurde zu Beginn der Rundfunkübertragung als hauptsächliches Modulationsverfahren benutzt. Vorteile dieses Verfahrens sind eine geringe Bandbreite (siehe A.1.1.4) und eine leicht zu realisierende Modulation bzw. Demodulation.

Doch diesen Vorteilen stehen auch einige Nachteile gegenüber, die im Laufe der Zeit zu einer vermehrten Ablösung der Amplitudenmodulation führten: Ein geringer Wirkungsgrad und auch eine hohe Störanfälligkeit sind die entscheidenden Faktoren, warum man in der Rundfunkübertragung mehr und mehr zu anderen Modulationsverfahren greift. Dennoch wird die Amplitudenmodulation auch heute noch in einigen Bereichen verwendet. Den meisten Menschen wird sie wohl mit ihrer Abkürzung „AM“, die an fast allen Rundfunkempfängern abzulesen ist, geläufig sein. So greift man zum Beispiel bei Rundfunk, CB-Funk und Amateurfunk, vor allem im Bereich der Mittelwelle, die den Frequenzbereich von 300kHz bis 3000kHz einschließt, auf diese Art der Modulation zurück. Weitere Einsatzgebiete sind der Flugfunk, die Flugnavigation und nicht zu vergessen das Fernsehen.<sup>1</sup>

### 1.1 Funktionsprinzip

Bei der Amplitudenmodulation wird, wie der Name schon sagt, die Amplitude der Trägerwelle durch die so genannte Information (das zu modulierende Signal oder auch Nutzsignal) verändert. Die Frequenz des Trägers bleibt bei diesem Verfahren stets gleich. Oft wird bei der Amplitudenmodulation auch von einer Zweiseitenbandmodulation gesprochen, da die Information in den Seitenbändern steckt. Dieses Phänomen wird im Verlauf noch ausführlicher erklärt. Betrachtet man die Amplitudenmodulation genauer, so ergibt sich folgende Funktionsweise: Man überlagert eine Trägerwelle ( $U_c, \Omega$ ) mit dem Nutzsignal ( $U_{NF}, \omega$ ). Der Träger ist meist eine sehr hochfrequente Welle im Gegensatz zu dem Nutzsignal, dessen Frequenz wesentlich kleiner ist ( $\Omega \gg \omega$ ).

Diese nun neu entstandene Welle sieht man auf der Abbildung 1. Ändert sich die Amplitude der Information, so ändert sich automatisch auch die Amplitude des modulierten Signals im gleichen Takt.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>Vgl. (F.2.1.2); (F.2.1.7)

<sup>2</sup>Vgl. (F.2.1.2)

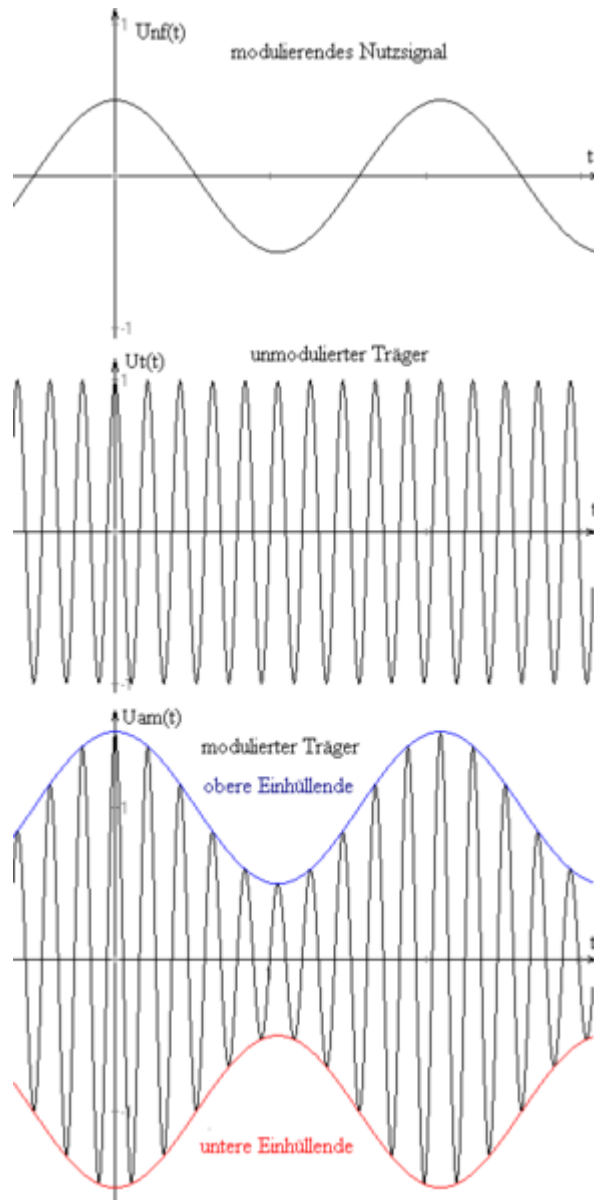


Abbildung 1 Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Amplitudenmodulation3.png>

## 1.2 Mathematische Behandlung

Um die später folgenden Schritte besser verstehen zu können, sollte man sich zunächst der mathematischen Behandlung der Amplitudenmodulation widmen:

Welche Größen sind bei der Modulation beteiligt:

$\omega$  := Die Frequenz des Nutzsignals

$\Omega$  := Die Frequenz des Trägers

Bedingung :  $\Omega \gg \omega$

Formel des gesamten Nutzsignals:

$$U_{NF} = \hat{U}_{NF} \cos(\omega t)$$

Formel des Trägersignals:

$$U_T = \hat{U}_T \cos(\Omega t)$$

Das modulierte Signal  $U_{AM}$  erhält man, indem man zum Trägersignal die Multiplikation aus Nutzsignal und Trägerschwingung addiert:

$$U_{AM} = \hat{U}_T \cos(\Omega t) + (\hat{U}_{NF} \cos(\omega t) * \cos(\Omega t))$$

Unter Verwendung des Additionstheorems

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta))$$
<sup>1</sup>

erhält man:

$$U_{AM} = \hat{U}_T \cos(\Omega t) + \frac{\hat{U}_{NF}}{2} (\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t))$$

An dieser Formel kann man erkennen, dass das modulierte Signal aus insgesamt drei Teilen besteht. Dabei bildet der erste Teil den Träger. Die Teile zwei und drei beschreiben die schon oben erwähnten Seitenbänder, welche beide die gleiche Amplitude besitzen.

Nun wird auch die Funktionsweise der Amplitudenmodulation deutlich:

Ändert man die Amplitude des Nutzsignals ( $\hat{U}_{NF}$ ) so ändert man auch die Amplitude des modulierten Signals. In der Formel ist auch die Frequenz der Information enthalten ( $\omega$ ). Aus der Bedingung  $\Omega \gg \omega$  geht jedoch hervor, dass eine Änderung dieser Frequenz keinen großen Einfluss auf das Modulationsverfahren hat.<sup>2</sup>

### 1.3 Modulationsgrad

Der Modulationsgrad (m) ist eine Kenngröße der Amplitudenmodulation. Er gibt an, wie stark das Signal moduliert wird. Sein Wert lässt sich durch das Verhältnis der Amplitude des Nutzsignals und der Amplitude des Trägers errechnen:

$$m = \frac{\hat{U}_{NF}}{\hat{U}_T} = \frac{U_{AM_{\max}} - \hat{U}_T}{\hat{U}_T} = \frac{U_{AM_{\max}} - U_{AM_{\min}}}{U_{AM_{\max}} + U_{AM_{\min}}}$$

Daraus ergibt sich für  $U_{AM}$

---

<sup>1</sup> (F.2.2.3) S.39

<sup>2</sup>Vgl. (F.2.1.2)

$$U_{AM} = \hat{U}_T \left\{ \cos(\Omega t) + \frac{m}{2} [\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t)] \right\}$$

Um eine optimale Modulation zu erhalten sollte der Wert von m zwischen 0 und 1 liegen. Ist der Wert 0, so entsteht der unmodulierte Träger:

$$U_{AM} = \hat{U}_T \left\{ \cos(\Omega t) + \frac{0}{2} [\cos((\Omega - \omega)t) + \cos((\Omega + \omega)t)] \right\}$$

$$\Rightarrow U_{AM} = \hat{U}_T \cos(\Omega t)$$

Ist der Wert dagegen größer als 1 so kommt es zu einer so genannten Übermodulation. Dies zeigt sich in der Realität durch eine Verzerrung des Signals. Abbildung 2 zeigt drei Varianten mit verschiedenen Modulationsgraden und die daraus entstehenden Modulationstrapeze.

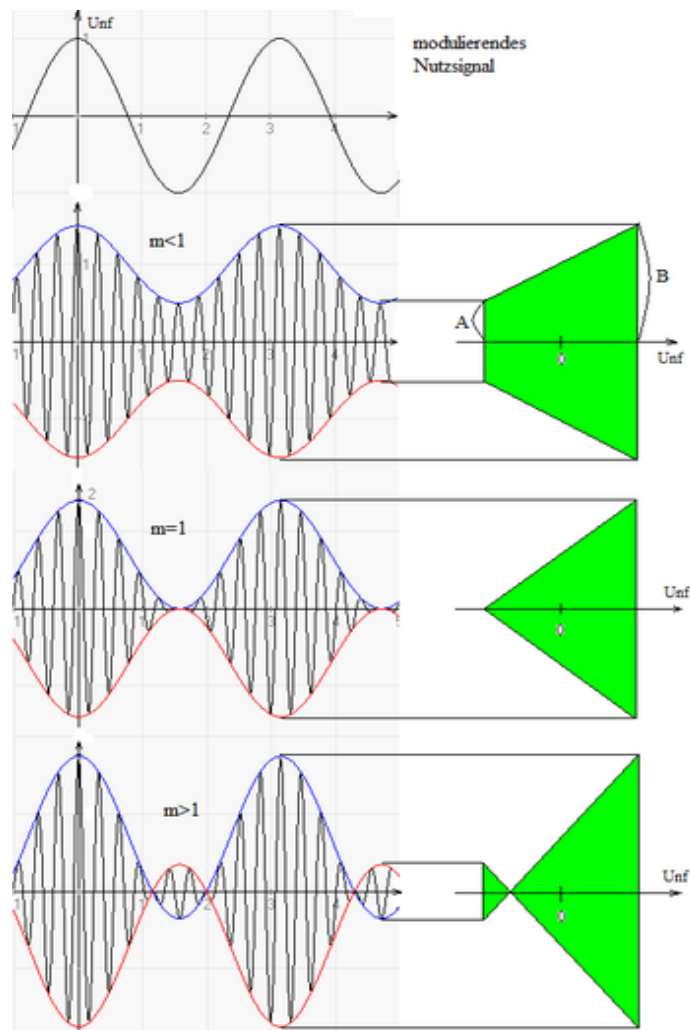


Abbildung 2 Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:MGradTrapez.png>

Ein Modulationstrapez ist eine Art der Darstellung der Amplitudenmodulation, bei der die Amplitude des modulierten Signals (y-Achse) über der Amplitude des modulierenden Signals (x-Achse) aufgetragen wird. Aus dem so erzeugten Modulationstrapez kann man zudem eine weitere Formel für den Modulationsgrad ableiten:<sup>1</sup>

$$m = \frac{B - A}{B + A}$$

#### 1.4 Bandbreite

Die allgemeine Definition einer Bandbreite ist, dass sie einen bestimmten Bereich vorgibt, in dem alle

„elektrische Signale mit einem Amplitudenabfall von bis zu 3 dB übertragen werden“.<sup>2</sup>

Daraus ergibt sich, dass mehr Informationen übertragen werden können, wenn die Bandbreite größer ist. Da in der Realität kein Signal mit der einheitlichen Frequenz  $\omega$  moduliert wird, muss man also eine Bandbreite wählen, deren Bereich ausreichend groß ist, um möglichst alle vorkommenden Frequenzen zu modulieren. Zur Veranschaulichung kann man sich wieder die Stimme eines Moderators vorstellen. Wäre die Frequenz konstant, so würde der Moderator mit einem einzigen Ton sprechen. Da die Stimme des Moderators aber wesentlich mehr Frequenzen beinhaltet, wird ein so genanntes Frequenzband verwendet, das jeder Sender für die Übertragung von Musik oder Stimmen zu Verfügung hat. Rechnerisch kann man die Bandbreite wie folgt darstellen:

B:=Bandbreite

$$B = 2 * f_{\max}$$

$f_{\max}$  := Die maximal auftretende Frequenz

Diese Frequenz muss man verdoppeln, da man bei der Amplitudenmodulation ein oberes und ein unteres Seitenband hat. Das standardisierte Frequenzband bei der Amplitudenmodulation für den Rundfunk beträgt 4,5kHz. Daraus ergibt sich eine Bandbreite von 9kHz.<sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.1.2); (F.2.1.12)

<sup>2</sup> (F.2.1.9)

<sup>3</sup> Vgl. (F.2.1.2)



## 1.5 Wirkungsgrad

Da die Amplitudenmodulation, wie oben gesehen wurde, eine Zweiseitenbandmodulation ist, ist für die eigentliche Information nur ein Teil des modulierten Signals relevant. Die Tatsache, dass die beiden Seitenbänder die gleiche Information beinhalten, macht eines von beiden überflüssig. Auch der Träger hat keine weitere Bedeutung für die Information an sich. Somit kann der Wirkungsgrad aus folgenden Gleichungen bestimmt werden:

$$(I) P_{ges} = P_T + 2P_{SB}$$

$$(II) P_T = \frac{\hat{U}_T^2}{2R}$$

$$(III) P_{SB} = \frac{\hat{U}_{NF}^2}{8R}$$

Dabei gilt:

R:= ein beliebiger Widerstand, der auf die Leistung bezogen ist.<sup>1</sup> Wenn man diese Gleichung nun in die Berechnung für den Modulationsgrad einsetzt ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$\eta = \frac{P_{SB}}{P_{ges}} = \frac{m^2}{4 + 2m^2}$$

An dieser Gleichung sieht man die Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Modulationsgrad. Betrachtet man die beiden Grenzen des Modulationsgrades, die für eine sinnvolle Modulation herangezogen werden, so erhält man einen Wirkungsgrad zwischen 0% (m=0) und 17% (m=1).

## 1.6 Realisierung der Modulation

Zur Realisierung der Modulation benötigt man vereinfacht betrachtet nur einen Generator für den hochfrequenten Träger und das Nutzsignal, die in dem Modulator zusammengeführt werden. In der Abbildung 3 sieht man einen vereinfachten Aufbau eines solchen Modulators. Der Träger ( $U_t$ ) wird zunächst zu dem Signal ( $U_i$ ) addiert. Man erhält also die Summe beider Signale ( $U_t + U_i = U_{t+i}$ ). Zusätzlich benötigt man noch eine Multiplikation der Signale (Siehe mathematische Herleitung). Diese erhält man, indem man die Summe der beiden Signale an ein Bauelement mit gekrümmter (Strom und Spannung

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.1.2)

hängen nicht linear voneinander ab) Kennlinie leitet (Diode oder Transistor). So eine Kennlinie einer Diode sieht man beispielsweise in der Abbildung 11 im Anhang. Eine solche Diode wurde auch im Beispiel in der Abbildung 3 verwendet. Die anderen Bauteile lassen sich wie folgt erklären:

-C1: Über C1 werden die Wechselstromsignale eingespeist

-R1: Mit diesem Widerstand wird eine so genannte „Schwellspannung“ eingestellt. Dadurch wird verhindert, dass die Diode den negativen Anteil von  $U_{t+i}$  herausfiltert.

-R2: An diesem Widerstand fällt die Spannung  $U_{R2}$ , die nach dem Filtern  $U_{AM}$  bilden wird

-Bandpass: Mit diesem Bandpass werden unerwünschte Frequenzen, sowie der Gleichspannungsanteil von  $U_{R2}$  herausgefiltert

Nach dem Durchlauf durch diese Schaltung erhält man das modulierte Signal

$U_{AM}^1$

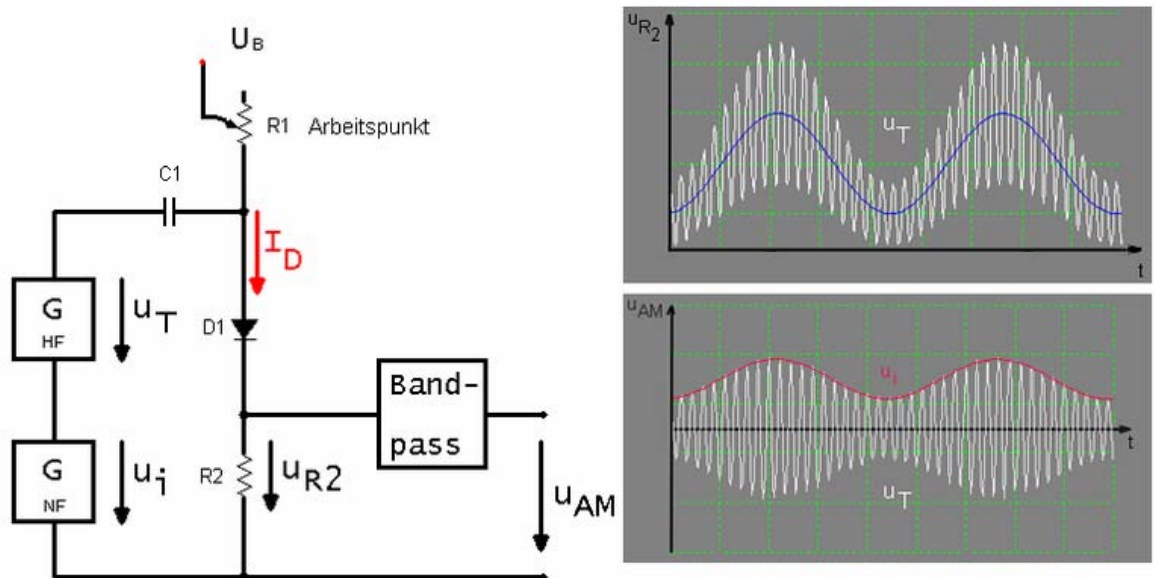


Abbildung 3 Quelle : [http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Am\\_modulator.png](http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Am_modulator.png)

## 1.7 Demodulation

Sobald das Signal erfolgreich auf den Träger aufmoduliert ist, kann es also auch über weite Strecken gesendet werden. Allerdings ist es nötig, dass Signal am Empfänger zu demodulieren, um wieder an die Information zu gelangen.

<sup>1</sup> Vgl. (F2.1.2)

Dabei bietet sich der Hüllkurvendemodulator als die einfachste Form eines Demodulators an.

Bevor man jedoch mit der Demodulation beginnen kann, sind nach F.2.2.1 S.1240 einige Voraussetzungen am ankommenden Signal zu beachten:

- Die Trägerfrequenz muss um einiges höher sein als die maximale Frequenz des Nutzsignals.
- Das Minimum der Hüllkurve muss größer sein, als die Durchlassspannung der Diode.
- Das Nutzsignal muss als reines Wechsellspannungssignal vorliegen.
- Die Grenzfrequenz des bei der Demodulation verwendeten Hochpasses muss kleiner sein als die maximale Frequenz des Nutzsignals.

Der Sinn dieser Voraussetzungen wird klar, wenn man den eigentlichen Vorgang der Demodulation betrachtet:

Zuerst wird das Signal an eine Diode gegeben, die als Gleichrichter des Signals dient. Ist das Signal gleichgerichtet, gelangt es an ein verlustbehaftetes Speicherglied. Dieses Speicherglied besteht aus einem Kondensator und einem Widerstand, die parallel zueinander geschaltet sind. Es dient der Herausfilterung von einem der beiden Seitenbänder, weil sonst die Information doppelt enthalten wäre. Außerdem wird hier der hochfrequente Anteil, also der Träger, herausgefiltert. Am Schluss kommt das Signal in einen Hochpass, der den Gleichanteil abtrennt. Am Ausgang erhält man wieder das ursprüngliche Signal, dessen Informationen man jetzt lesen kann. Solche Hüllkurvendemodulatoren findet man z.B. bei einfachen AM Empfängern. Der Vorteil liegt in dem nicht sehr komplexen Aufbau und den damit verbundenen niedrigen Kosten.<sup>1</sup>

## 2. Frequenzmodulation

Die zweite Methode ist die Frequenzmodulation (FM). Sie ist neben der Amplitudenmodulation (AM) das bekannteste Modulationsverfahren. Die Frequenzmodulation wird wie die Amplitudenmodulation häufig im Funk, vor allem im UKW-Bereich (Ultrakurzwellenbereich), verwendet. Der Ultrakurzwellenbereich beinhaltet die Menge der elektromagnetischen Wellen, deren Wellenlängen zwischen einem Meter und zehn Meter liegen bzw. deren Frequenzbereich zwi-

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.2.1) S.1239

schen 30 MHz und 300 MHz liegt (Umrechnung mit  $\lambda * f = c$ <sup>1</sup>). Sie ermöglicht eine „qualitativ gute, störungsarme drahtlose Übertragung von Rundfunkprogrammen“<sup>2</sup>. Die weiteren Nutzungsbereiche sind weitestgehend ähnlich zu denen der Amplitudenmodulation. Die Frequenzmodulation wird also neben der Rundfunktechnik auch in der Videotechnik, der Musik, der Messtechnik und in der digitalen Technik verwendet.<sup>3</sup>

## 2.1. Funktionsprinzip

Wie der Name schon andeutet wird bei der Frequenzmodulation nicht die Amplitude, sondern die Frequenz zur Übertragung der Information verwendet. Die Information steuert hier die „zeitliche Änderung der Frequenz des Trägers“<sup>4</sup>.

Dieser Vorgang lässt sich noch etwas genauer beschreiben:

Wenn das Nutzsignal ein Minimum hat, so wird die Frequenz des modulierten Signals auch minimal. Hat die Information aber ein Maximum, so wird die Frequenz des modulierten Signals maximal.

Es wird also die Information aus der Amplitude des Nutzsignals in die Frequenz des Trägers übertragen.

Eine visualisierte Form dieser Aussage findet man in Abbildung 4.

Schon 1922 gelang es J.R. Carson dieses Modulationsverfahren mathematisch korrekt zu beschreiben. Vierzehn Jahre später, also 1936, entwickelte Edwin Howard Armstrong das erste Rundfunksystem, dass sich der Frequenzmodulation bediente.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> (F.2.2.3) S.58

<sup>2</sup> (F.2.1.2)

<sup>3</sup> Vgl. (F.2.1.4)

<sup>4</sup> (F.2.1.10)

<sup>5</sup> Vgl. (F.2.1.2)

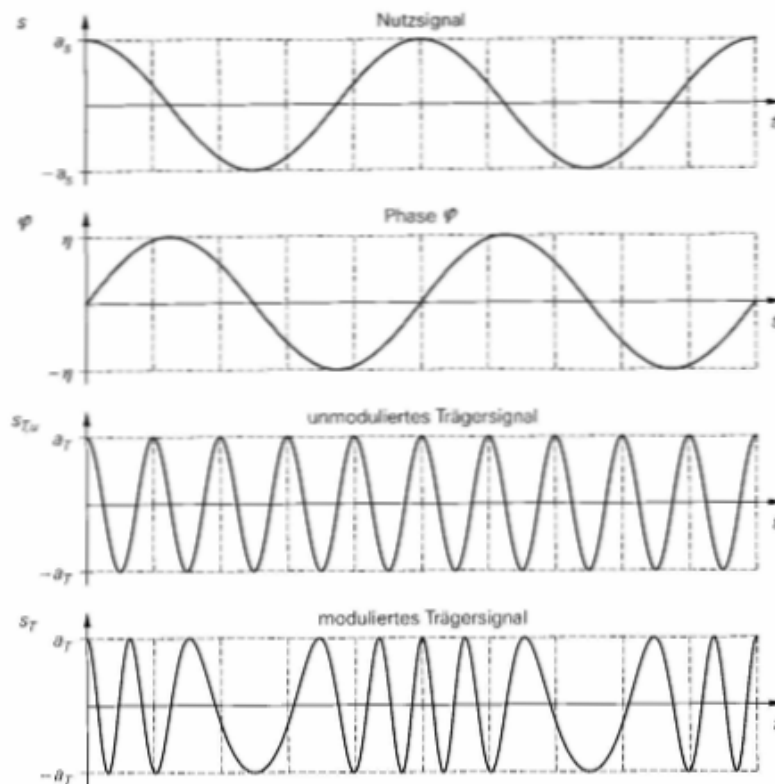


Abbildung 4 Quelle : Halbleiterschaltungstechnik S.1245

## 2.2 Bandbreite und Modulationsindex

Zur Berechnung der Bandbreite sind zunächst einige Vorkenntnisse über auftretende Größen notwendig:

- $\Delta f_T$  bezeichnet den so genannten Frequenzhub. Damit ist die Änderung der Frequenz des Trägers gemeint.
- $f_s$  ist die maximale Frequenz des Nutzsignals.
- $\eta$  ist der Modulationsindex, der wie folgt berechnet wird:

$$\eta = \frac{\Delta f_T}{f_s}$$

Aus Messungen ergab sich, dass sich nahezu alle auftretenden Frequenzen (99% der Sendeleistung) im Intervall  $[\eta-1; \eta+1]$  befinden. Aufgrund dieser Erkenntnis kann die Bandbreite mit der so genannten Carson-Formel berechnet werden:

$$B_{FM} = 2(\eta + 1) f_s$$

Durch Einsetzen des Modulationsindex erhält man:

$$B_{FM} = 2(\Delta f_T + f_s)$$

Die maximale Bandbreite wird erhalten, wenn die maximale Nutzsignalfrequenz eingesetzt wird. Wenn aber diese maximale Nutzsignalfrequenz eingesetzt wird, so wird der Modulationsindex minimal. Deswegen wird die Stärke einer Fre-

quenzmodulation durch  $\eta_{\min} = \frac{\Delta f_T}{f_{S_{\max}}}$  angegeben. Beim UKW-Rundfunk wird

für den Frequenzhub 75 kHz verwendet und für die maximale Frequenz des Nutzsignals 15 kHz. Daraus ergibt sich ein minimaler Modulationsindex  $\eta_{\min} = 5$

bzw. eine Bandbreite  $B_{FM} = 180 \text{ kHz}$ .<sup>1</sup>

### 2.3 Zusammenhang Frequenzmodulation – Phasenmodulation

Oft wird im Zusammenhang mit der Frequenzmodulation auch von der so genannten Phasenmodulation gesprochen. Die Basis dieser Verknüpfung bietet folgende Gleichung:

$$\omega(t) = \frac{d}{dt} p(t)$$

Die Gleichung zeigt, dass die Kreisfrequenz aus der zeitlichen Ableitung der Phase hervorgeht.

Für eine Beispielrechnung nach (2.1.5) werden folgende Signale verwendet:

Träger:  $U(t) = \hat{U} \sin(\Phi(t))$

Nutzsignal:  $U_m(t) = \hat{U}_m \cos(\omega_m t)$

Ausgehend von diesen zwei Signalen, kann eine Phasenmodulation wie folgt beschrieben werden:

$$\Phi(t) = \Omega t + \Delta\Phi \cos(\omega_m t)$$

$\Omega t$  := Trägerphase

$\Delta\Phi$  := Phasenhub

Für die Frequenzmodulation sieht die Gleichung so aus:

$$\Omega(t) = \Omega + \Delta\Omega \cos(\omega_m t)$$

$\Omega$  := Trägerfrequenz

$\Delta\Omega$  := Frequenzhub

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.1.2); (F.2.2.1) S.1244

Wird nun  $\int_0^t \Omega(t') dt$  gebildet, erhält man:

$$\int_0^t \Omega(t') dt' = \int_0^t [\Omega + \Delta\Omega \cos(\omega_m t')] dt' = \Omega t + \frac{\Delta\Omega}{\omega_m} \sin(\omega_m t)$$

Bei einem Vergleich mit der Formel für die Phasenmodulation kann festgestellt werden, dass sie sich nur im Sinus bzw. Kosinus unterscheiden, wenn man folgende Bedingung für den Zusammenhang zwischen Frequenz- und Phasenhub verwendet:

$$\Delta\Phi = \frac{\Delta\Omega}{\omega_m}$$

Der Unterschied liegt also nur noch in dem auftretenden Sinus bzw. Kosinus. Dieser Unterschied ist aber nicht erheblich, da er nur eine Verschiebung auf der Zeitachse bedeutet.

## 2.4 Realisierung der Modulation

Zur Realisierung der Frequenzmodulation wird ein spannungsgesteuerter Oszillator (voltage controlled oscillator) verwendet. Es handelt sich hierbei um einen Schwingkreis, dessen Frequenz durch eine angelegte Spannung verändert werden kann. Dies wird zum Beispiel mit einer so genannten Kapazitätsdiode erreicht, welche ihre Kapazität ändert sobald Spannung angelegt wird. Nach der Formel <sup>1</sup>

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

erfolgt durch die Änderung der Kapazität auch eine Änderung der vom Schwingkreis ausgehenden Frequenz.

Wenn das Modulationssignal also in den Oszillator gelangt, so ändert dieser die Frequenz, die er erzeugt. Das entstehende Signal hat also eine konstante Amplitude, da diese nicht verändert wird, sowie eine Frequenz, die von der Information gesteuert wird.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.2.2) S.51

<sup>2</sup> Vgl. (F.2.2.1) S.1248;

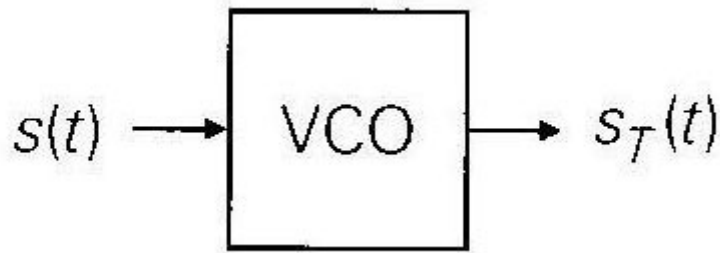


Abbildung 5 Quelle : Halbleiterschaltungstechnik S.1248

## 2.5 Realisierung der Demodulation

Um bei der Frequenzmodulation wieder an die Information zu kommen, wird auch dieses Signal demoduliert. Dabei wird das Signal meist nicht direkt demoduliert sondern erst in ein anderes, zum Beispiel amplitudenmoduliertes Signal umgewandelt (siehe Abb. 6). Das Ganze funktioniert, indem das Eingangssignal zunächst an einen Begrenzer und einen Bandpass gegeben wird. Diese zwei Elemente sorgen einerseits für eine konstante Amplitude des Eingangssignals und des Weiteren für eine Herausfilterung aller störenden Amplitudenmodulationen. Man nennt das die so genannte AM-Unterdrückung. Nach diesen beiden Elementen kommt das Signal an den Diskriminator, der für die Umwandlung des frequenzmodulierten Signals in ein amplitudenmoduliertes Signal sorgt. Anschließend wird das Signal mittels eines Hüllkurvendetektors wie bei der Amplitudenmodulation in A1.1.7 beschrieben demoduliert.<sup>1</sup>

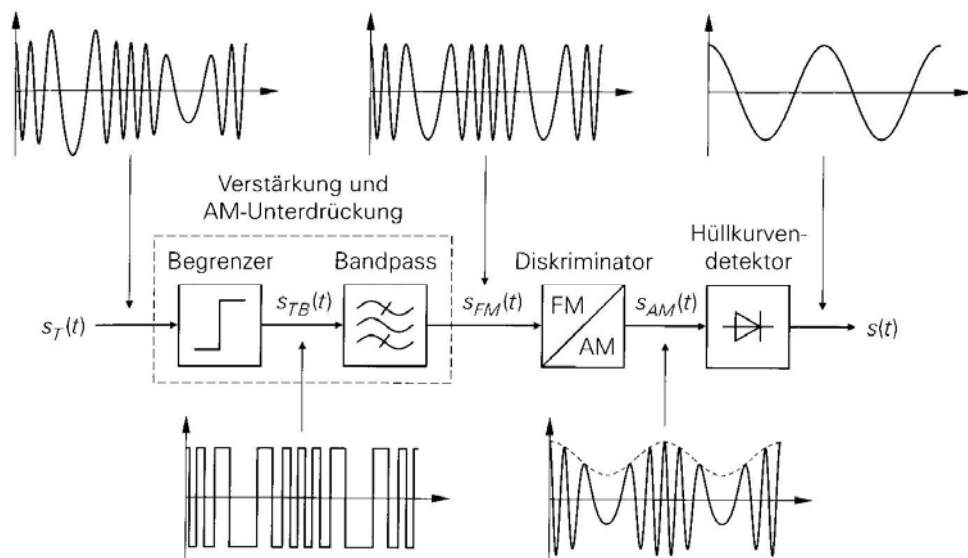


Abbildung 6 Quelle: Halbleiterschaltungstechnik S.1249

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.2.1) S.1248



### **3.Vergleich**

Beim Vergleich der beiden Modulationsarten werden sowohl für die Amplitudenmodulation, als auch für die Frequenzmodulation einige Vorteile deutlich:

Die Amplitudenmodulation bietet eine relativ einfache Möglichkeit der Modulation, das heißt der technische Aufwand bleibt in einem gewissen Rahmen.

Im Gegensatz dazu steht die Frequenzmodulation als technisch besseres Verfahren. Es zeichnet sich durch eine geringe Störanfälligkeit aus, da alle nicht erwünschten Amplitudenmodulationen durch einen Begrenzer bei der Demodulation beseitigt werden (Siehe A.2.1.5).

Des Weiteren bietet die Frequenzmodulation einen höheren Dynamikumfang. Dieser Dynamikumfang ist im Allgemeinen der Quotient aus Maximum und Minimum einer Funktion. In der Akustik wird hier der Quotient aus dem lautesten und dem leisesten Schalldruckpegel gebildet. Wird diese Grenze überschritten so kommt es entweder zu einem Rauschen, wenn die Grenze nach unten überschritten wird, oder zu einer Verzerrung, bei Überschreitung der Grenze nach oben.

Ein größerer Dynamikumfang hat also den Vorteil, dass diese Grenze nicht so schnell überschritten wird.<sup>1</sup>

## **C. Bau einer Meißnerschaltung**

### **1.Schaltung**

#### **1.1 Komponenten**

Zunächst muss der Begriff der Meißnerschaltung geklärt werden. Die Meißnerschaltung ist ein Oszillator, also ein „[Erzeuger] von ungedämpften Schwingungen“<sup>2</sup>. Sie wurde nach dem deutschen Physiker Alexander Meißner (1883-1958) benannt. Die von mir gebaute Meißnerschaltung ist eine so genannte Transistorschaltung, da ein Transistor als aktives Element vorhanden ist. Er ersetzt die früher verwendete Röhre. Das Wort Transistor ist ein aus den Wörtern „transfer resistor“ gebildetes Kunstwort und bedeutet soviel wie „veränderlicher Wider-

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.1.3)

<sup>2</sup> (F.2.1.5).

stand“. Ein Transistor ist ein Halbleiterbauelement. In meiner Schaltung wird ein bipolarer Transistor verwendet. Dieser hat drei Kontakte: Den Emitter, den Kollektor und die Basis. Bipolare Transistoren werden durch den elektrischen Strom gesteuert, der an der Basis fließt (auch Basisstrom genannt). Je mehr Strom dort fließt, desto mehr Strom wird zwischen Emitter und Kollektor durchgelassen. Genauso wird weniger Strom zwischen Emitter und Kollektor durchgelassen, wenn der Basisstrom niedriger ist. Bei den bipolaren Transistoren gibt es noch eine weitere Unterscheidung: den pnp-Transistor und den npn-Transistor. Das „p“ bzw. das „n“ beziehen sich jeweils auf die Dotierung. Dotierung heißt, dass man durch Einbringung von Fremdatomen in ein Gitter eine Ladungsungleichheit herstellt. Dabei bedeutet das „p“ eine positiv dotierte Schicht und das „n“ eine negativ dotierte Schicht. Man unterscheidet die beiden Formen beim Schaltzeichen mit dem Pfeil, der am Emitter angebracht ist. Zeigt dieser Pfeil weg von der Basis, so liegt ein npn-Transistor vor. Zeigt er zur Basis hin, so liegt ein pnp-Transistor vor. Der Unterschied der beiden ist die elektrische Stromrichtung am Emitter, die durch den Pfeil angezeigt wird.<sup>1</sup>

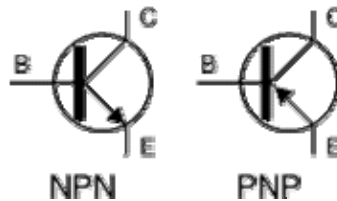


Abbildung 7 Quelle : <http://www.kpsec.freeuk.com/images/transbce.gif>

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.1.6);(F.2.1.13)

## 1.2. Funktionsweise

Zur Erklärung der Funktionsweise der Meißner Schaltung ist zunächst das Schaltbild nötig:

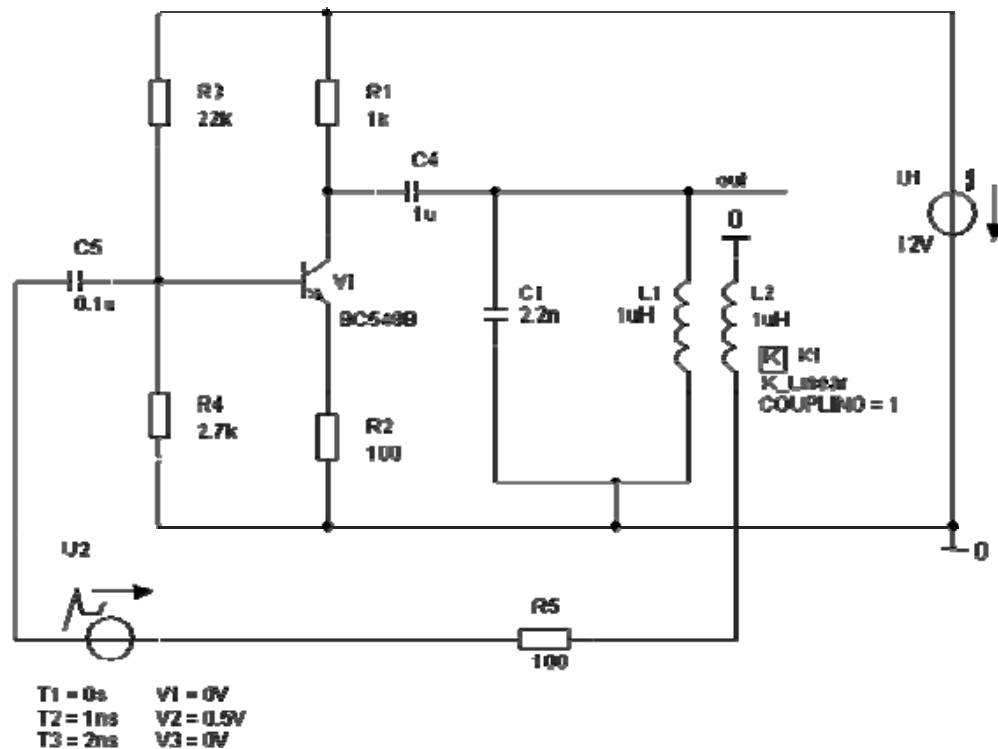


Abbildung 8 Quelle: <http://www.spicelab.de/meissner.htm>

Die Schaltung basiert auf einem Schwingkreis, der das Signal erzeugt. Dieser Schwingkreis wird von dem Kondensator C1 und der Spule L1 gebildet. Die Spule L1 ist zusätzlich induktiv an die Spule L2 gekoppelt. Allerdings sind sie um 180° Phasen verschoben gekoppelt, das heißt sobald der Strom an L1 steigt, sinkt der Strom an L2 und umgekehrt. Dadurch erreicht man eine positive Rückkopplung. Für ein genaueres Verständnis wähle ich nun den Fall, dass der Strom an L1 steigt. Dies führt zu einem Absinken des Stroms an L2, wodurch auch der Basisstrom am Transistor V1 absinkt. Sobald dieser Basisstrom absinkt, fließt weniger Strom durch den Transistor und dafür mehr über C4 wieder in den Schwingkreis. Dadurch steigt der Strom an L1 noch mehr. Das Ganze kann als „Anstoßen“ bezeichnet werden und mit dem klassischen Schaukeln verglichen werden:

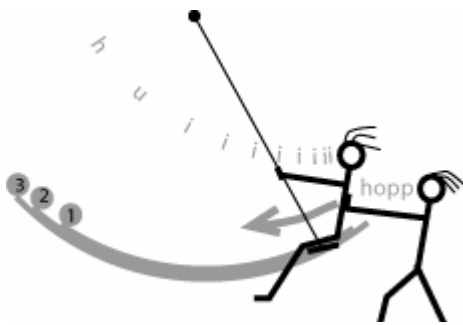


Abbildung 9 Quelle:  
<http://www.forum-stimme.de/stimmkultur/BILDER-STIMMKUL/Aufschaukeln.gif>

Wenn man eine Schaukel im richtigen Moment – kurz nach der Wende - anstößt, wird die Schaukelbewegung größer, das Kind schaukelt höher, solange die zugeführte Energie die Reibungsenergie während einer Schaukelbewegung übertrifft. Ein ähnliches Phänomen erkennt man bei diesem Schwingkreis:

Die Energiezufuhr erfolgt hier nicht an einem bestimmten Punkt, sondern kontinuierlich. Ab einer bestimmten Obergrenze, sinkt der Strom wieder ab und es entsteht eine Schwingung mit konstanter Amplitude; eine ungedämpfte Schwingung.

## D. Amplitudenmodulator

Genau wie bei der Meißner Schaltung wird zunächst der Schaltplan des Amplitudenmodulators benötigt:

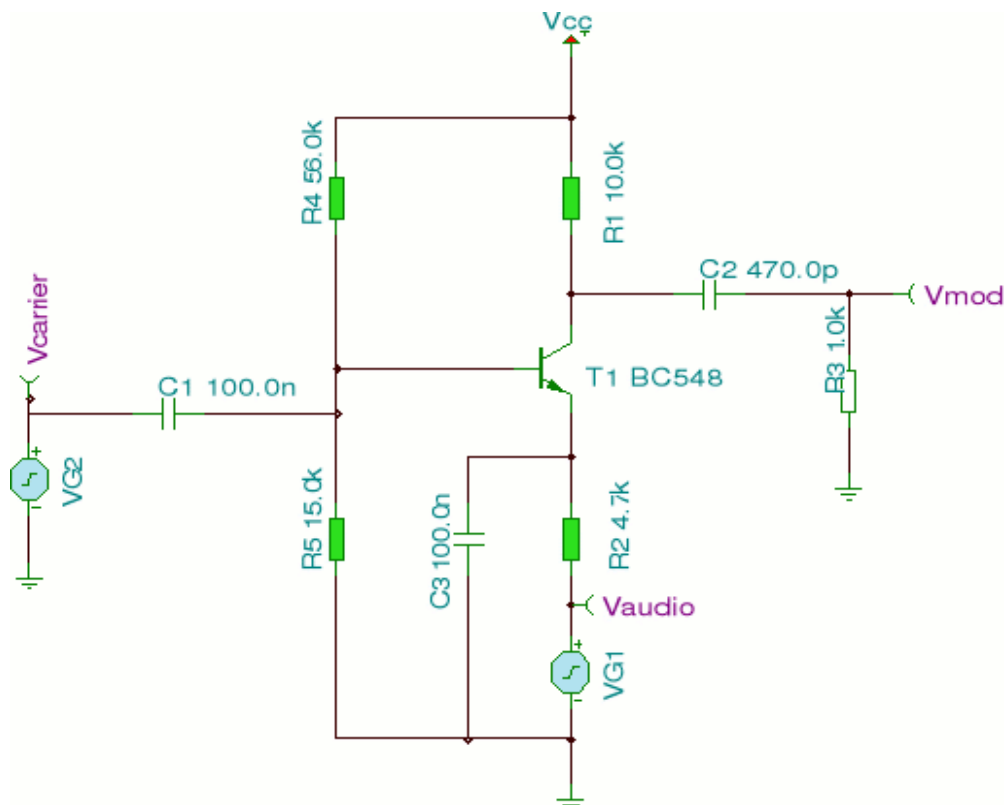


Abbildung 10 Quelle: <http://www.zen22142.zen.co.uk/spice/ammod.htm>

Bei dieser Schaltung kommt bei  $V_{carrier}$  das hochfrequente Signal, dass vorher mit der Meißner Schaltung erzeugt wurde, in die Schaltung. Das Nutzsignal wird bei  $V_{Audio}$  eingespeist. Zusätzlich zu der Schaltung wurden zwei Potentiometer eingebaut. Diese dienen zur Teilung der Eingangsspannungen des Nutzsignals bzw. des Trägers. Verbunden werden beide Signale mit Hilfe des Transistors T1, durch den das Ausgangssignal, das bei  $V_{mod}$  die Schaltung verlässt, gebildet wird. Das C2, R3 Glied kurz vor dem Ausgang dient zur Herausfilterung der Gleichspannungsanteile.<sup>1</sup>

## **E. Schluss und Danksagung**

Ich hoffe, dass ich einen Einblick in die Welt der Modulation geben konnte. Ich möchte noch einmal die enorme Wichtigkeit dieser Technik herausstellen:

Ohne die Modulation wäre die Übertragung von Informationen, sei es im Rundfunk oder auch in anderen Gebieten, undenkbar.

Auch möchte ich meinem Großvater, Lorenz Reindl, für seine Hilfe bei der Herstellung des Gehäuses für meinen Modulator, sowie meinem Vater für die Bereitstellung notwendiger Geräte für den Bau meiner Schaltung, danken.

---

<sup>1</sup> Vgl. (F.2.1.8)

## F. Anhang

### 1. Bedienungsanleitung des Modulators

An meiner Schaltung sind, wie auf der Abbildung 12 im Anhang zu erkennen ist, sechs Buchsen angebracht. Dabei ist die untere Buchse immer die Masseleitung, also der negative Pol. Um ein niederfrequentes Signal auf den Träger, der mit der Meißnerschaltung erzeugt wird, aufzumodulieren, muss man folgende Dinge anschließen:

- Stromversorgung an die zwei linken Buchsen (Oben positiv; Unten Negativ)
- Niederfrequentes Signal bei der Beschriftung  $U_{NF}$

Wenn diese Dinge richtig angeschlossen sind erhält man bei  $U_{AM}$  das Amplitudenmodulierte Signal. Zusätzlich wird es durch die beiden Potentiometer ermöglicht, die Eingangsspannungen zu regulieren um das Ergebnis zu optimieren.

### 2. Literaturverzeichnis

#### 2.1 Internetseiten

1. <http://de.wikipedia.org/wiki/Amplitudenmodulation> : 13.01.08, 12:05
2. <http://de.wikipedia.org/wiki/Frequenzmodulation> : 14.01.08, 16:55
3. <http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamikumfang> : 14.01.08, 16:56
4. <http://de.wikipedia.org/wiki/Ultrakurzwelle> : 21.01.08; 16:00
5. [http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander\\_Mei%C3%9Fner](http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Mei%C3%9Fner) : 21.01.08; 16:08
6. <http://de.wikipedia.org/wiki/Transistor> : 21.01.08; 16:11
7. <http://lexikon.meyers.de/meyers/Mittelwellen> : 14.01.08, 16:54
8. <http://www.zen22142.zen.co.uk/spice/ammod.htm> : 14.01.08, 16:47
9. [http://www.itwissen.info/definition/lexikon/\\_bwbw\\_bwbandwidthbw\\_bwbandbreite.html](http://www.itwissen.info/definition/lexikon/_bwbw_bwbandwidthbw_bwbandbreite.html) : 13.01.08, 11:56
10. [http://de.encyclopedia.msn.com/encyclopedia\\_761569219/Frequenzmodulation.html](http://de.encyclopedia.msn.com/encyclopedia_761569219/Frequenzmodulation.html) : 14.01.08, 16:51
11. <http://public.rz.fh-wolfenbuettel.de/~buchwald/vl/mv/Kap2MV.pdf> : 13.01.08, 12:11
12. [http://mhf-e.desy.de/sites/site\\_mhf-e/content/e157/e158/infoBoxContent391/Info-Blatt\\_05.01\\_Amplitudenmodulation.pdf](http://mhf-e.desy.de/sites/site_mhf-e/content/e157/e158/infoBoxContent391/Info-Blatt_05.01_Amplitudenmodulation.pdf) : 13.01.08; 12:06
13. <http://www.mikrocontroller.net/articles/Transistor> : 21.01.08; 16:10
14. <http://www.woerter.at/dud/stuff/modulationsverfahren.pdf> : 14.01.08, 16:53

## 2.2 Literatur

1. Halbleiter-Schaltungstechnik; U.Tietze; Ch.Schenk; 12.Auflage 2002; Springer-Verlag
2. Physikalische Formeln und Tabellen; Hammer/Hammer; 8.Auflage 2002; J.Lindauer Verlag
3. Mathematische Formeln und Definitionen; Barth, Mühlbauer, Nikol, Wörle; 8. Auflage 2004; J.Lindauer Verlag

## 3. Bilder

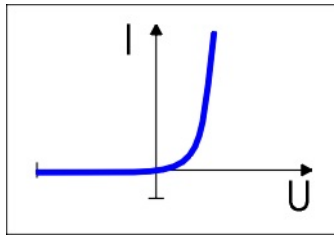


Abbildung 11 Quelle:<http://olli.informatik.uni-oldenburg.de/weTEiS/weteis/diode-kenn.jpg>



Abbildung 12

#### **4.Selbstständigkeitserklärung**

Ich erkläre hiermit, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benützt habe.

....., den .....

Ort

Datum

Unterschrift des Schülers