

Analogmultiplexer als Amplitudenmodulatoren

Dipl.-Phys. Jochen Bauer

09.11.2014

Einführung und Motivation

Mit dem zunehmenden Verschwinden von Mittel- und Langwellensendern ergibt sich die Notwendigkeit historische Rundfunkempfänger zu Demonstrations- oder Testzwecken mit einem lokal generierten amplitudenmodulierten HF-Signal zu versorgen. Das Kernstück von dazu geeigneten Signalgeneratoren ist der Amplitudenmodulator, an den bezüglich Linearität und maximaler Modulationstiefe hohe Anforderungen gestellt werden.

Eine leistungsfähige und dennoch schaltungstechnisch recht einfache Variante eines Amplitudenmodulators kann mit Hilfe eines Analogmultiplexers aufgebaut werden. Ein praktisches Beispiel findet sich unter [1], [2]. In diesem Artikel sollen die theoretischen Grundlagen dieser Möglichkeit der Amplitudenmodulation kurz dargestellt werden. Insbesondere wird dabei auf die Erzeugung von Oberschwingungen der Trägerfrequenz durch diese Art der Amplitudenmodulation eingegangen. Es wird gezeigt, dass die Oberschwingungen der Trägerfrequenz eine Amplitudenmodulation erfahren, die identisch zur Amplitudenmodulation der Grundfrequenz des Trägers ist.

Funktionsweise eines Analogmultiplexers

Ein Analogmultiplexer kann im einfachsten Fall als ein elektronischer Schalter aufgefasst werden, der je nach "Stellung" einen von mehreren Signaleingängen auf einen Signalausgang schalten kann [3]. Eine typische Anwendung dafür ist die sequentielle Übertragung von mehreren Signalen über nur eine zur Verfügung stehende Leitung. Im Gegensatz zu Digitalmultiplexern, die nur die Logikpegel 0 und 1 vom selektierten Eingang zum Ausgang weitergeben können, können Analogmultiplexer kontinuierlich veränderliche Eingangsspannungen verarbeiten und auf den Ausgang legen. Dies wird meistens durch die Verwendung von sogenannten Transmission-Gates realisiert bei denen zwischen selektiertem Eingang und Ausgang ein leitender Kanal gebildet wird [3], [4].

Das Auswählen eines der Eingänge erfolgt durch Anlegen entsprechender Logikpegel an die Steuereingänge. Im einfachsten Fall eines 2 auf 1 Multiplexers wird mit den Logikpegeln 0 bzw. 1 am Steuereingang jeweils einer der beiden Eingänge auf den Ausgang gelegt. Abbildung 1 veranschaulicht das Prinzip eines solchen 2 auf 1 Multiplexers mit dem Eingängen E1 und E2, dem Steuereingang S und dem Ausgang A.

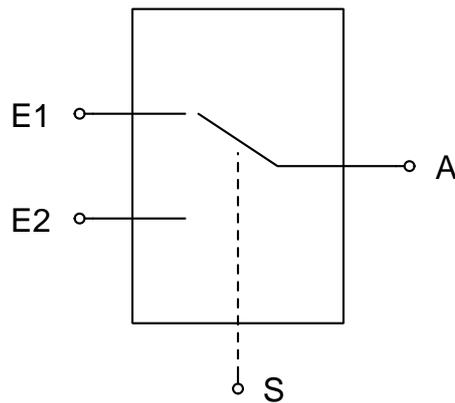


Abbildung 1: Schema eines Analogmultiplexers

Welche Spannungen am Steuereingang als Logikpegel 0 bzw. 1 erkannt werden hängt vom jeweiligen Multiplexer ab und ist im Datenblatt angegeben. Meistens gilt, dass eine Steuerspannung in der Nähe von 0V (Masse) als 0 erkannt wird, während eine Steuerspannung in der Nähe der positiven Versorgungsspannung als 1 erkannt wird.

Amplitudenmodulation mit Analogmultiplexer

Wir gehen aus von einem NF-Signal $u_{\text{NF}}(t)$, das durch geeignete Normierung auf den Bereich von -1V bis +1V beschränkt ist. Bei der Amplitudenmodulation wird die Spannung des NF-Signals zunächst mit einem Faktor $0 \leq m \leq 1$ skaliert und das Ergebnis durch einen Gleichspannungsanteil soweit angehoben, dass im Ergebnis für beliebige zulässige Faktoren m keine negativen NF-Spannungen mehr vorkommen. Im Falle eines wie oben beschrieben normierten NF-Signals ist die dazu benötigte Gleichspannung +1V. Man erhält dann als Ergebnis die Amplitudenfunktion ¹

$$A(t) = 1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)$$

¹Auch Hüllkurvenfunktion genannt.

Es ist nun sofort zu sehen, dass die als Skalierungsfaktor eingeführte Größe m den Modulationsgrad angibt. Ein Beispiel für eine Amplitudenfunktion mit $m = 0.5$ und cosinusförmigem NF-Signal ist in Abbildung 2 gezeigt.

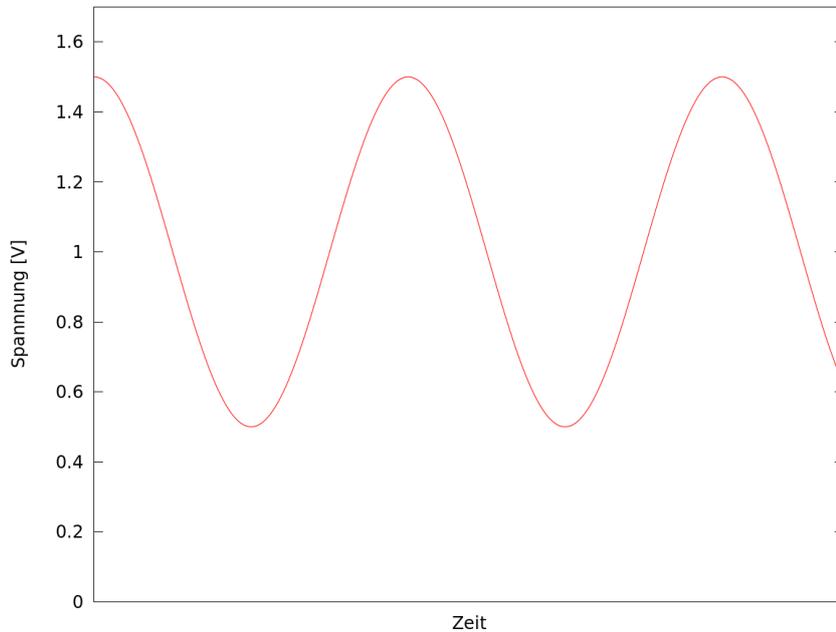


Abbildung 2: Beispiel einer Amplitudenfunktion

Die amplitudenmodulierte Trägerschwingung $u_{\text{HF}}(t)$ ist damit durch

$$u_{\text{HF}}(t) = A(t) \cdot u_{\text{TR}}(t) = (1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)) \cdot u_{\text{TR}}(t) \quad (1)$$

gegeben, wobei $u_{\text{TR}}(t)$ die unmodulierte Trägerschwingung angibt².

Bei der Verwendung eines Analogmultiplexers als Amplitudenmodulator wird die Amplitudenfunktion $A(t)$ auf einen der beiden Eingänge des in Abbildung 1 skizzierten Analogmultiplexers gelegt, während der andere Eingang auf 0V (Masse) gelegt wird. Die Trägerfrequenz wird in Form einer Rechteckschwingung, die mit der Kreisfrequenz Ω ³ bzw. der Periode $T = 2\pi/\Omega$ zwischen den Logikpegeln 0 und 1 pendelt an den Steuereingang gelegt⁴. Im Ergebnis schaltet der Analogmultiplexer dadurch im Rhythmus der Trägerfrequenz den Ausgang abwechselnd

²Eine Einführung in die Thematik der Modulation findet sich z.B. in [5], [7], [6].

³In Übereinstimmung mit [5], [6], [7] wird für die Trägerfrequenz das Symbol Ω verwendet, während ω für die Niederfrequenz vorbehalten ist.

⁴Eine derartige Rechteckschwingung kann bequem mit einem Quarzoszillator erzeugt werden.

auf die Amplitudenfunktion $A(t)$ und 0V. Das dadurch für das verwendete Beispiel der Amplitudenfunktion am Ausgang erscheinende Signal ist in Abbildung 3 dargestellt.

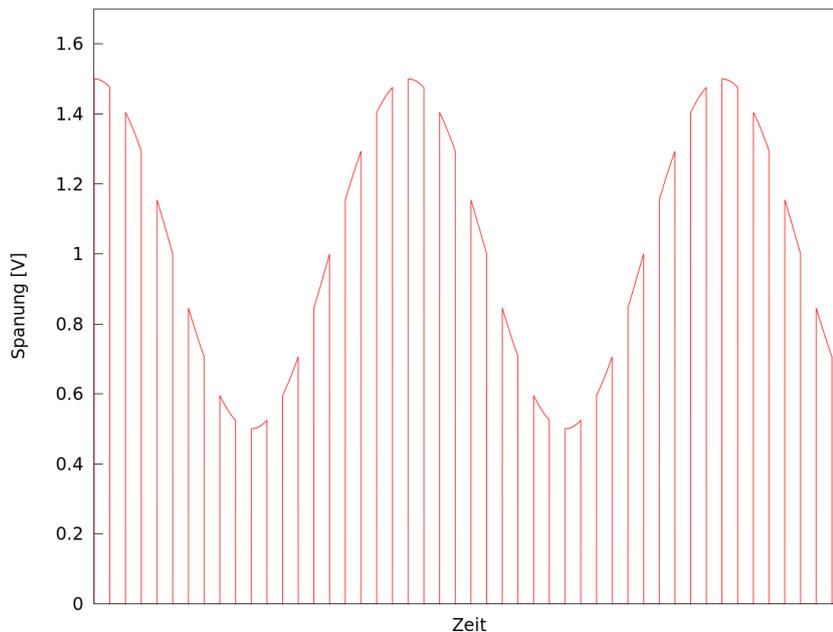


Abbildung 3: Ausgangssignal des Multiplexers als Amplitudenmodulator

Mathematisch kann dieses Ausgangssignal als Produkt der Amplitudenfunktion $A(t)$ und einer Schaltungsfunktion $S(t)$ mit den Eigenschaften

$$S(t) = \begin{cases} 1 & ; 0 \leq t < \frac{1}{2}T \\ 0 & ; \frac{1}{2}T \leq t < T \end{cases}$$

wobei $T = 2\pi/\Omega$ die Periode der (Träger)Schaltfrequenz ist, dargestellt werden. Es ist also

$$u_{\text{HF}}(t) = A(t) \cdot S(t) = (1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)) \cdot S(t) \quad (2)$$

womit die Verbindung zur allgemeinen Darstellung eines amplitudenmodulierten Trägers aus Gleichung (1) hergestellt ist.

Frequenzspektrum des Ausgangssignals

Wie bereits erwähnt liefert der Analogmultiplexer als Amplitudenmodulator ein Spektrum an Oberschwingungen der (Träger)Schaltfrequenz. Um dies näher zu

untersuchen, kann die Schaltfunktion $S(t)$ in eine Fourier-Reihe entwickelt werden. Sie wird also dargestellt als Summe des Gleichspannungsanteils, der Grundschwingung und aller Oberschwingungen. Es ergibt sich⁵ [8]

$$\begin{aligned} S(t) &= \frac{1}{2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{2}{(2k+1)\pi} \sin((2k+1)\Omega t) \\ &= \frac{1}{2} + \frac{2}{1 \cdot \pi} \sin(\Omega t) + \frac{2}{3 \cdot \pi} \sin(3\Omega t) + \frac{2}{5 \cdot \pi} \sin(5\Omega t) + \dots \end{aligned}$$

In der Praxis ist dabei stets nur eine endliche Zahl von Oberschwingungen bis zu einer durch die Schaltung und die verwendeten Komponenten gegebene maximale Frequenz zu berücksichtigen. Das Fehlen der geradzahigen Harmonischen ist dabei im Tastverhältnis des Rechtecksignals von 1:1 begründet [8]. Einsetzen der obigen Fourier-Reihe von $S(t)$ in Gleichung (2) liefert für das Ausgangssignal $u_{\text{HF}}(t)$ die Darstellung

$$\begin{aligned} u_{\text{HF}}(t) &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2}m \cdot u_{\text{NF}}(t) \\ &\quad + (1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)) \cdot \frac{2}{\pi} \sin(\Omega t) \\ &\quad + (1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)) \cdot \frac{2}{3\pi} \sin(3\Omega t) \\ &\quad + (1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)) \cdot \frac{2}{5\pi} \sin(5\Omega t) \\ &\quad + \dots \end{aligned} \tag{3}$$

Das Ausgangssignal besteht demnach aus einem Gleichspannungsanteil, einem Niederfrequenzanteil, der amplitudenmodulierten Grundschwingung der Trägerfrequenz und deren ebenfalls amplitudenmodulierten Oberschwingungen der Frequenzen 3Ω , 5Ω , 7Ω , ... mit dem jeweiligen Amplitudenverhältnis $1/3$, $1/5$, $1/7$, ... zur Grundschwingung. Aus diesem Spektrum wird in der Regel durch geeignete Filter die amplitudenmodulierte Grundschwingung $u_{\text{HF},k=0}(t)$ der Trägerfrequenz ausgewählt und alle anderen Spektralanteile unterdrückt. Aus der obigen Darstellung von $u_{\text{HF}}(t)$ ergibt sich sofort

$$u_{\text{HF},k=0}(t) = (1 + m \cdot u_{\text{NF}}(t)) \cdot \frac{2}{\pi} \sin(\Omega t)$$

Für das bisher verwendete Beispiel eines cosinusförmigen NF-Signals ist $u_{\text{HF},k=0}(t)$ in Abbildung 4 dargestellt. Man erkennt sofort das gewohnte Bild eines amplitudenmodulierten sinusförmigen Trägers.

⁵Streng genommen ist das Gleichheitszeichen hier nicht korrekt, da keine punktweise Konvergenz vorliegt.

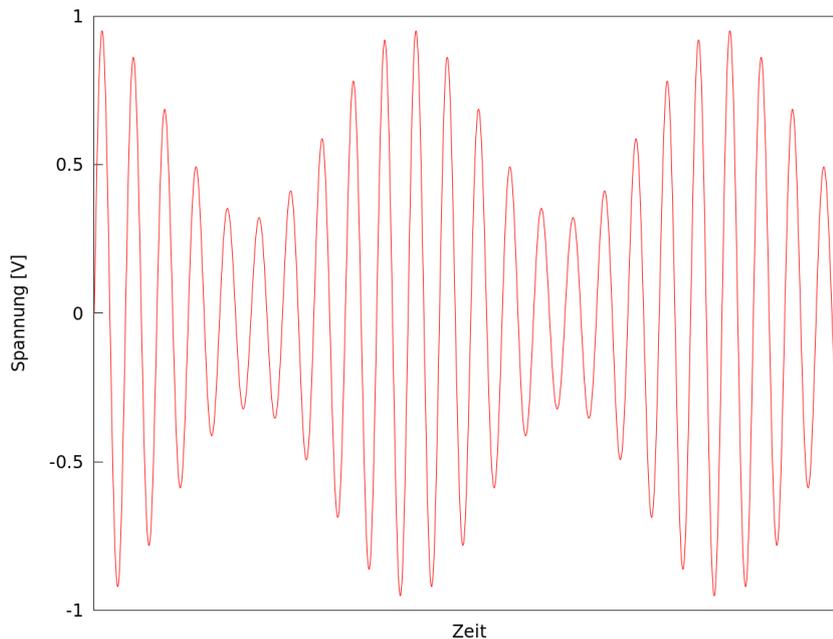


Abbildung 4: Modulierte Grundschwingung der Trägerfrequenz

Kommen wir noch kurz zu den Oberschwingungen des Trägers zurück. Aus Gleichung (3) ist sofort ersichtlich, dass diese identisch zur Grundschwingung amplitudenmoduliert sind. Es ist also möglich durch geeignete Filter eine amplitudenmodulierte Oberschwingung des Trägers auszuwählen und diese als letztendliches Ausgangssignal zu verwenden. Damit können Frequenzbereiche abgedeckt werden, die überhalb der maximalen Grundfrequenz der Trägerschwingung in einer gegebenen Schaltung liegen. Dieses Verfahren findet seine Grenzen in der maximalen Frequenz die der Analogmultiplexer von seinen Eingängen zum Ausgang durchleiten kann sowie in der Tatsache, dass die Amplituden der Oberschwingungen mit zunehmender Ordnung rasch kleiner werden.

Literatur

- [1] <http://www.gloeidraad.nl/radioforumservice/index.php?p=artikelen&sub=artikel-am-pll>
- [2] <http://www.gloeidraad.nl/radioforumservice/index.php?p=artikelen&sub=artikel-am-pll2>
- [3] <http://de.wikipedia.org/wiki/Multiplexer>
- [4] <http://de.wikipedia.org/wiki/Transmission-Gate>

- [5] http://www.radiomuseum.org/forumdata/upload/modulation_release.pdf
- [6] [http://www.diru-beze.de/signale/skripte/2008/
Fourier_Transformation_in_der_Nachrichtentechnik.pdf](http://www.diru-beze.de/signale/skripte/2008/Fourier_Transformation_in_der_Nachrichtentechnik.pdf)
- [7] [http://www.diru-beze.de/modulationen/skripte/
SuS_W0506/SSB_VSB_Modulation_WS0506.pdf](http://www.diru-beze.de/modulationen/skripte/SuS_W0506/SSB_VSB_Modulation_WS0506.pdf)
- [8] Meyberg, Vachenaer, *Höhere Mathematik II*, Springer, 1991