

# 322 - Überlagerung und Modulation /AD-Wandler

## 1. Aufgaben

- 1.1 Digitalisieren Sie ein analoges Signal und experimentieren mit der Abtastrate und Sampleanzahl!
- 1.2 Überlagern Sie zwei Frequenzen und beobachten das Zeit- und Frequenzverhalten im Experiment! Benutzen Sie dazu einen AD-Wandler.
- 1.3 Erweitern Sie die Schaltung, um eine additive Modulation zu realisieren!
- 1.4 Simulieren Sie die Überlagerung und die Modulation am PC mit dem LabView-Programm!
- 1.5 Aufbau einer Schaltung für die multiplikative Modulation und Simulation.

## 2. Grundlagen

Stichworte: Digitalisierung mit AD-Wandler, Diode, Überlagerung von elektrischen Signalen, Amplitudenmodulation

### 2.1 Analog Digital Wandler (ADC)

Durch den Einsatz von Computern in fast allen Bereichen der Technik sind Analog Digital Wandler eine notwendige Baugruppe. Damit bei der Digitalisierung eines Analogsignals keine Verluste des Signals zustande kommen, müssen bestimmte Grundregeln beachtet werden.

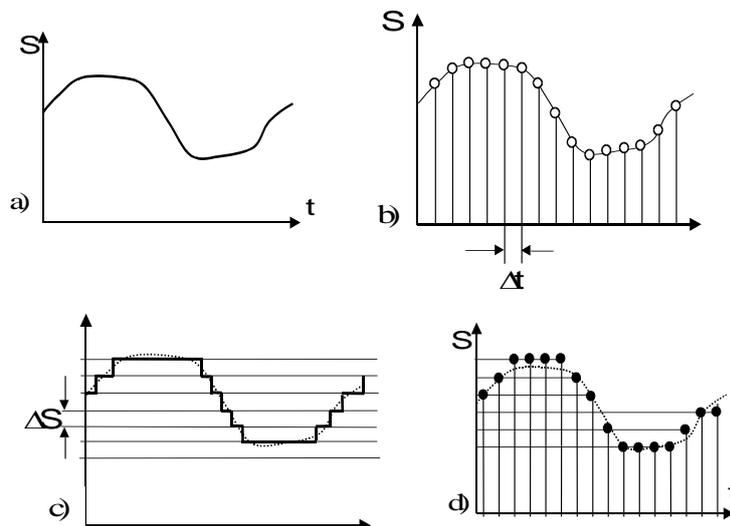


Abb.1: Prinzip der A/D –Wandlung:

- a) analoger Verlauf: wert- und zeitkontinuierliches Signal
- b) Abtastung-Quantelung der Zeit: wertkontinuierliches zeitdiskretes Signal
- c) Quantisierung-Quantelung der Amplitude: wertdiskretes zeitkontinuierliches Signal
- d) Abtastung und Quantisierung: Wert- und zeitdiskretes Signal

Informationsparameter:  $\Delta t$  ... Zeitintervall für Abtastung

$\Delta S$  ... Quantisierungsstufe des Informationsparameters.

**Samplerate:**

Die zeitliche Auflösung wird als Samplerate (Abtastrate) bezeichnet (Sample/Sekunde oder Hz). Diese ist der wichtigste Parameter einer AD-Wandler-Baugruppe und muss dem aufzuzeichnenden Signal angepasst sein. Die wichtigste Bedingung, welche bei jeder Digitalisierung Anwendung findet, ist das **Abtasttheorem**:

*Abtastbedingung = Sampling Theorem = Nyquist – Shannon – Theorem*

$$f_{\text{Abtast}} > 2 \cdot f_{\text{max}}$$

Die Frequenz der Abtastung muss größer sein als das Doppelte der höchsten zu digitalisierenden Frequenz. Eine zu kleine Abtastfrequenz führt zu Abtastfehlern. Eine wesentlich größere Abtastfrequenz dagegen wird meist verwendet, erhöht jedoch die Menge an digitalen Daten. (Übliche Werte sind heute: Samplerate: 10 kS/s bzw. 10 kHz bis 1 GS/s bzw. 1 GHz)

**Auflösung:**

Die Amplitudenauflösung wird in bit angegeben und ist bauelementespezifisch, kann nicht verändert werden. (Übliche Werte sind heute: Auflösung: 12 bit.)

**Sampleanzahl:**

Die Anzahl der Samplepunkte kann beim AD-Wandler eingestellt werden und entscheidet über die Aufzeichnungszeit. Diese sollte so gewählt werden, dass das komplette Signal erfasst wird.

## 2.2 Fast Fourier Transformation (FFT)

Die Fourier-Transformation (nach Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768–1830) ist eines der wichtigsten Werkzeuge der Signalverarbeitung. Sie gestattet es, ein Signal in seine verschiedenen Frequenzbestandteile zu zerlegen.

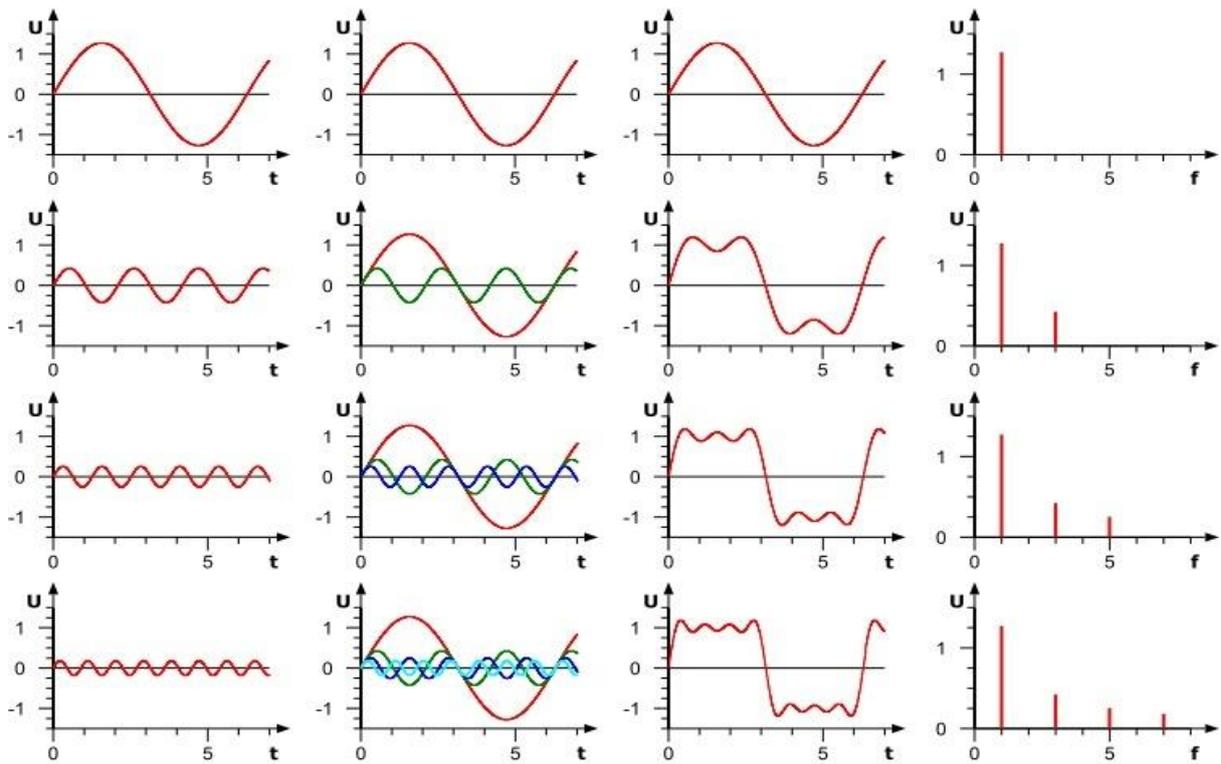
In der Physik und allen anderen Bereichen der Wissenschaft und Technik werden elektrische Signale meist als Amplituden in Abhängigkeit der Zeit (Zeitsignale) aufgenommen. Interessant und oft besser auswertbar ist eine Charakteristik der Amplitude in Abhängigkeit der Frequenz. Mit Hilfe des mathematischen Verfahrens, der Fast Fourier Transformation (FFT), kann man beide Signale ineinander umrechnen.

$$U(t) \iff U(f)$$

Zur Auswertung und Charakterisierung hat sich insbesondere durch die Verfügbarkeit von Rechentechnik die Anwendung der FFT immer mehr durchgesetzt. Hier im Versuch wird die FFT angewendet, um das modulierte Zeitsignal in das Frequenzspektrum zu transformieren um dieses auswerten zu können. Die der Fouriertransformation zugrundeliegende Mathematik soll hier nicht Gegenstand der Betrachtung sein, dafür gibt es genügend andere Quellen.

Als Einstieg in das Thema soll die Fourierzerlegung bzw. -synthese einer Rechteckschwingung wie in Abb. 2 betrachtet werden. Eine Rechteckschwingung der Frequenz  $f$  lässt sich aus einer Sinusschwingung derselben Frequenz sowie den ungeraden Oberschwingungen ( $3 \cdot f$ ,  $5 \cdot f$ ,  $7 \cdot f$ , ...) mit jeweils abnehmender Amplitude zusammensetzen (vgl. Abb. 2). Allgemein betrachtet lässt sich jede periodische Funktion als trigonometrische Reihe (Fourier-Reihe) darstellen, d.h. in eine Reihe harmonischer (Sinus-, Kosinus-) Funktionen mit diskreten Frequenzen entwickeln. Das, was zeitlich betrachtet eine periodische Rechteckschwingung ist, lässt sich also auch als (in diesem Fall) unendliche Folge diskreter Frequenzen darstellen, quasi als Spektrum (in Abb.2 rechts unten, dargestellt bis  $7 \cdot f$ ). Dem Rechteck im Zeitbereich entspricht ein bestimmtes Spektrum im Frequenzbereich. Einer reinen Sinus- oder Kosinusschwingung (Abb.2 oben)

entspricht im Frequenzbereich genau eine Frequenz, bei einem amplitudenmodulierten Signal in diesem Versuch wären es drei Frequenzen usw.



Quelle: Wikipedia

Abb.2: Fourierzerlegung eines Rechtecksignals.

### 2.3 Überlagerung

Die Überlagerung ist wie bei der Interferenz eine einfache Addition zweier (elektrischer) Signale. Es entstehen keine neuen Frequenzen.

#### Überlagerung zweier Schwingungen

$$U_{\ddot{U}} = U_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) + U_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \tag{1}$$

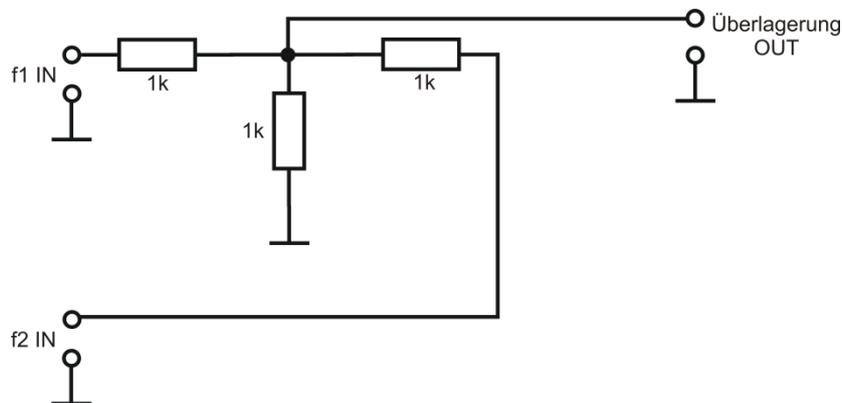


Abb.3: Schaltungsaufbau Summierglied.

Anwendung findet die Überlagerung z.B.: in der Tontechnik (Mischpult). Dort werden verschiedene Frequenzen in der Amplitude variabel zu einem Summsignal addiert. Die Realisierung erfolgt im einfachsten Fall über ein Summierglied mit Widerständen (Abb. 3).

## 2.4 Modulation

Die Modulation von Signalen ist ein wesentlicher Bestandteil in allen Bereichen von elektrischen Signalen, um Informationen übertragen zu können. Angewendet wird diese z.B. beim Mobilfunk (GSM, UMTS, LTE), DECT, WLAN, WiMAX, LTE, Bluetooth, Rundfunk, DAB, Fernsehen, DVB-S, DVB-T, DVB-C, GPS, RFID, Telefon, Flugfunk usw. Sämtliche Übertragungen von Informationen beruhen auf der Modulation von Signalen. Nur dadurch ist es möglich, die spezifischen Nutzdaten in einem bestimmten zur Verfügung stehenden Frequenzbereich zu übertragen. In allen Wellenlängenbereichen, auch im optischen Bereich, muss moduliert werden, um einem Trägersignal das Nutzsignal aufzuprägen.

Neben der Amplitudenmodulation gibt es noch zahlreiche andere Modulationsverfahren, welche alle spezielle Eigenschaften haben. Die am einfachsten zu realisierende Möglichkeit ist jedoch die Amplitudenmodulation. Um aus dem modulierten Signal nach der Übertragung das Nutzsignal wieder auszufiltern, muss es demoduliert werden. Diese Demodulation wird meist mit den gleichen Baugruppen wie bei der Modulation realisiert.

Oft werden die Begriffe Modulation oder Mischung verwendet. Technisch werden beide genauso realisiert. Man unterscheidet beide nur bezüglich der Ausnutzung entstandener Frequenzen:

- Bei der **Mischung** wird nur eine der entstehenden Frequenzen ausgenutzt (z.B. in Heterodyn-Empfängern, Superheterodyn-Empfängern, Überlagerungsempfängern).
- Den Begriff **Modulation** verwendet man, wenn mehrere Mischprodukte der entstandenen Frequenzen zur weiteren Nutzung gebraucht werden.

Bei der Modulation wird das Nutzsignal, welches die zu übertragende Information enthält, in einen definierten höheren Frequenzbereich "verschoben". Dieses Nutzsignal wird einem Trägersignal aufmoduliert. Dieses Trägersignal wird auch für die spätere Rückgewinnung der Information des Nutzsignals wieder benötigt.

## 2.5 Amplitudenmodulation

Als Amplitudenmodulation bezeichnet man die periodische Änderung der Amplitude einer Schwingung in Abhängigkeit der Zeit. Die Amplitudenmodulation war lange Zeit das wichtigste Signalaufbereitungsverfahren in der Rundfunktechnik, da die technische Realisierung im Sender und Empfänger relativ einfach zu handhaben war. In der Messtechnik ist eine Amplitudenmodulation des Messsignals nötig, um das wichtige Messverfahren, die Lock-In-Technik, anwenden zu können. Auch andere, einfachere Übertragungstechniken verwenden die Amplitudenmodulation. Man unterscheidet die **additive und multiplikative** Amplitudenmodulation (Zweiseitenbandmodulation).

Das Nutzsignal kann ein beliebiges Signal sein. Das Trägersignal ist sinnvollerweise eine sinusförmige Schwingung, welche von der Frequenz meist deutlich über dem Nutzsignal liegt. Dieses Trägersignal wird im einfachsten Fall (additive Amplitudenmodulation bzw. Mischung) mit übertragen, ist ein notwendiges Hilfssignal, enthält aber keine Information. Bei der multiplikativen Amplitudenmodulation wird das Trägersignal nicht mit übertragen.

2.5.1 Additive Amplitudenmodulation

Dies ist die am einfachsten zu realisierende Variante. Zunächst werden die zu modulierenden Signale  $\omega_1$ =Nutzfrequenz und  $\omega_2$ =Trägerfrequenz überlagert. Anschließend wird dieses Signal an einer exponentiell verlaufenden Kennlinie, z.B. einer Diode oder einem Transistor, verzerrt. Im Idealfall entstehen dabei zwei neue Frequenzen (Seitenbänder):  $\omega_2 - \omega_1$ ,  $\omega_2 + \omega_1$ . Die Trägerfrequenz  $\omega_2$  bleibt erhalten.

$$\begin{aligned}
 & \text{Amplitudenmodulation (additiv)} \\
 & U_{AM} = U_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) + U_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \\
 & \omega_2 \gg \omega_1
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

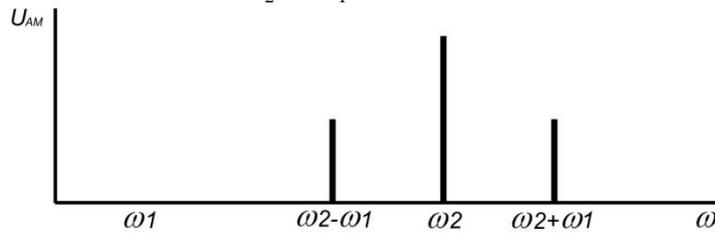


Abb. 4: Spektrum Amplitudenmodulation additiv.

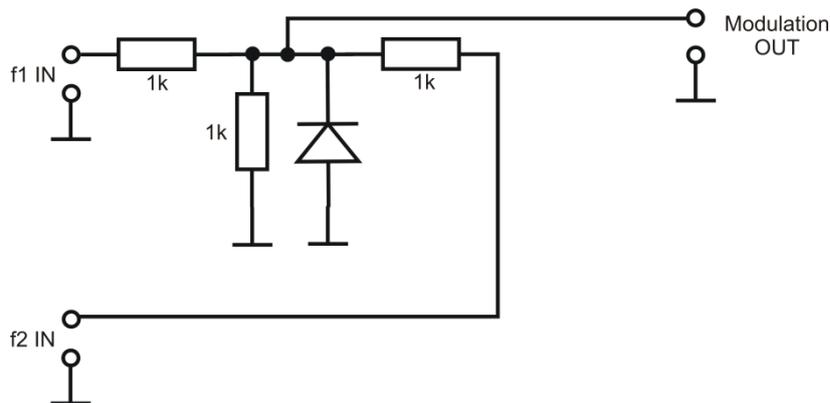


Abb.5: Schaltung für eine Modulation:  $f_1$  ... Nutzfrequenz,  $f_2$  ... Trägerfrequenz.

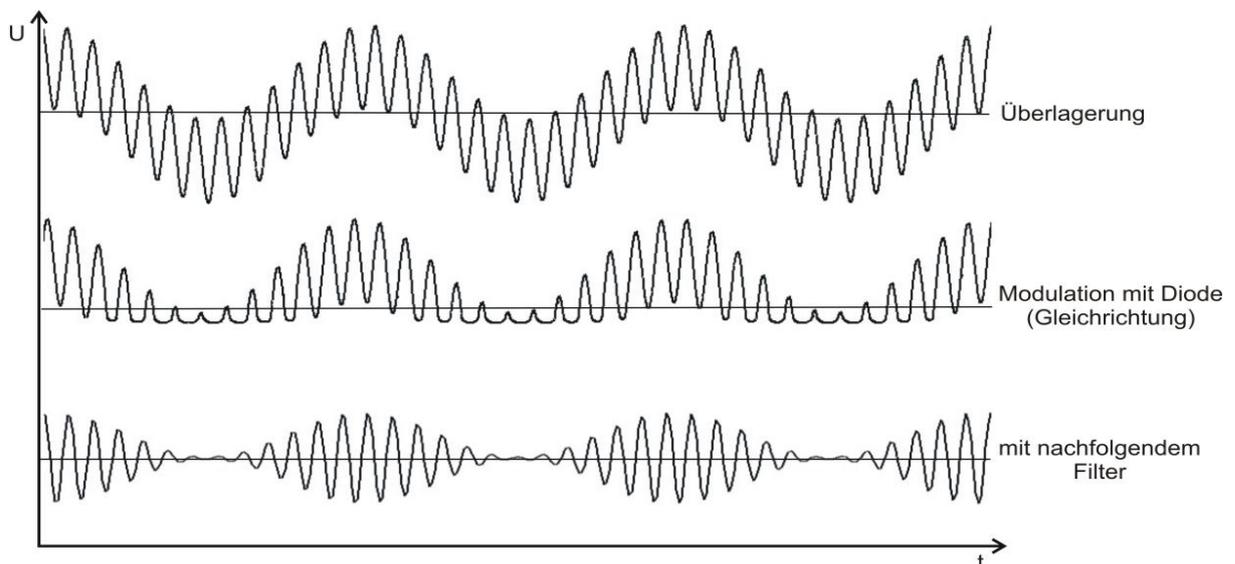


Abb.6: Signalverläufe für die additive Amplitudenmodulation (Schaltung in Abb.5).

Realisierung der additiven Modulation mit einer Diode. Diese bewirkt ein „Abschneiden“ der negativen Halbwellen oder Gleichrichtung der überlagerten Signale. Dadurch entsteht eine Amplitudenmodulation. Diese einfache Methode lässt allerdings auch unerwünschte Oberwellen der Seitenbänder entstehen. Mit Filtern kann man diese unterdrücken.

### 2.5.2 Multiplikative Amplitudenmodulation

Diese häufiger in der Praxis eingesetzte Variante kann mit Diodenringmodulatoren realisiert werden. Vorteil hierbei ist, dass die Trägerfrequenz nicht mit erzeugt wird und alle anderen unerwünschten Nebenfrequenzen besser unterdrückt werden. Es entstehen im Idealfall zwei neue Frequenzen  $\omega_2 - \omega_1$ ,  $\omega_2 + \omega_1$ . Die Trägerfrequenz  $\omega_2$  wird aber unterdrückt.

Amplitudenmodulation (multiplikativ)

$$U_{AM} = U_1 \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \cdot U_2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \quad (3)$$

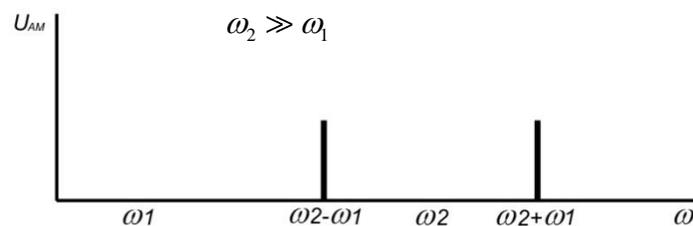


Abb.7: Spektrum Amplitudenmodulation multiplikativ.

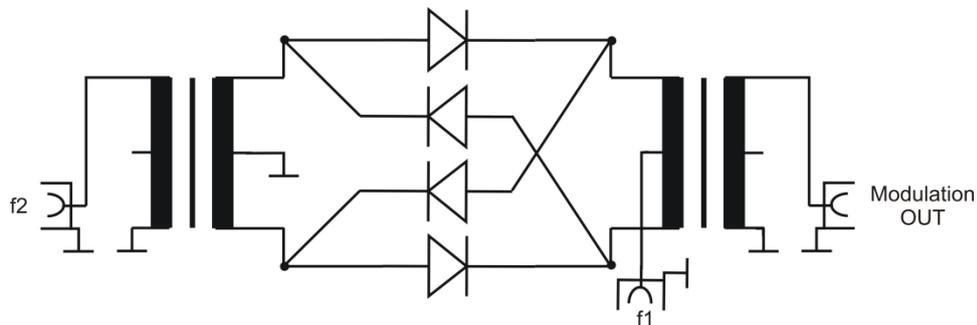


Abb.8: Schaltung für eine multiplikative Modulation mit Diodenringmodulator.

## 3. Versuchsdurchführung

Zur Digitalisierung der Signale steht Ihnen der PC-gesteuerte AD-Wandler USB1208FS und die LabView Software „Spektrum-Analyzer (USB1208FS)“ zur Verfügung.

An USB1208FS bitte A-In CH0 als Eingang verwenden. Damit der AD-Wandler bei den verwendeten Eingangsspannungen nicht übersteuert wird, achten Sie auf die Einstellung: Input Range=+-10V.

Für Ihr Protokoll übernehmen Sie bitte aussagekräftige Darstellungen bzw. Bilder (Funktion „Drucken auf“ in der LabView Software).

3.1 Digitalisieren Sie mit dem AD-Wandler verschiedene Sinusfrequenzen:

400 Hz, 510 Hz, 6 kHz, 24 kHz, 30 kHz!

Als Quelle benutzen Sie einen Funktionsgenerator. Stellen Sie die Signalform Sinus-Wechselspannung (Taste "Wave") und 8V<sub>ss</sub> (Regler "Amplitude") ein! Das entspricht etwa der Stellung des „AMPL“ Reglers =1/2. Die Angabe V<sub>ss</sub> ist die Spitze-Spitze-Spannung in Volt und kann mit der Software gemessen werden. Das Signal liegt dann am Ausgang „Output 50Ω“ an.

Welche minimale Samplerate muss bei diesen verschiedenen Signalen verwendet werden, um Abtastfehler zu vermeiden (Sampletheorem)? Beobachten Sie insbesondere die Digitalisierung des 30 kHz-Signals! Welche Auswirkung auf das fouriertransformierte Signal hat die Anzahl der verwendeten Samplepunkte (Samples)? Beschreiben Sie die Ergebnisse im Zeit- und Frequenzbereich! Um Zusammenhänge zu erkennen, experimentieren Sie mit den Parametern für den AD-Wandler. Achten Sie darauf, dass die Aufnahmezeit (AQ-Time) nicht größer als einige Sekunden wird!

3.2 Für alle weiteren Experimente (3.2 bis 3.4) verwenden Sie bitte folgende empfohlene Parameter für den AD-Wandler, welche in der Software einstellbar sind:

SampleRate: 50 k S/sek  
 Samples: 20 kSamples  
 Zeit-Bereich Zoom: 0...10 ms  
 FFT-Bereich Zoom: 200 Hz ... 7 kHz

Überlagern Sie zwei Frequenzen im Experiment (Schaltung nach Abb.3) mit folgenden Parametern für die Funktionsgeneratoren:

$$f_1 = 400 \text{ Hz} \quad U_1 = 4 \text{ V}_{ss} \quad f_2 = 5 \text{ kHz} \quad U_2 = 8 \text{ V}_{ss}.$$

Verwenden Sie Widerstände zur Summation der Spannungen (siehe Schaltung Abb.3). Digitalisieren Sie mit dem AD-Wandler das Ausgangssignal und übernehmen ein aussagekräftiges Bild für Ihr Protokoll (Funktion „Drucken auf“ in der LabView Software).

Simulieren Sie mit dem LabView-Programm die Überlagerung!

Programmieren Sie im Eingabefeld „freie Eingabe“ die mathematische Funktion mit den gleichen Parametern wie im Experiment:  $f_1 = 400 \text{ Hz}$ ,  $U_1 = 4 \text{ V}_{ss}$ ,  $f_2 = 5 \text{ kHz}$ ,  $U_2 = 8 \text{ V}_{ss}$ ! Orientieren Sie sich auch an Funktionen, welche in der Software vorgegeben sind.

3.3 Erweitern Sie die Schaltung für die Überlagerung zweier Frequenzen um eine Diode und realisieren damit eine additive Modulation (Schaltung nach Abb.4; Parameter für Amplitude und Frequenz wie in 3.2.).

Beobachten und beschreiben Sie die Veränderung im Zeitbereich und im Frequenzbereich! Mit welcher Baugruppe könnte man die unerwünschten Nebenfrequenzen beseitigen?

Simulieren Sie mit dem LabView-Programm die additive Amplitudenmodulation zunächst mit den gleichen Werten für die Spannungen und Frequenzen wie im Experiment.

Variieren Sie jetzt die Spannung  $U_1$  der Nutzfrequenz  $f_1$ !

Bei welchem Spannungsverhältnis für  $f_1$  und  $f_2$  wird ein Modulationsgrad von 100% erreicht? Das ist dann der Fall, wenn die zwei Seitenbänder die halbe Amplitude der Trägerfrequenz erreicht haben. Das Trägersignal wird hierbei zu 100% „durchmoduliert“.

3.4 Realisieren Sie die multiplikative Modulation mit einem Diodenringmodulator (Schaltung nach Abb.8) mit folgenden Parametern für die Sinusgeneratoren:

$$f_1 = 400 \text{ Hz} \quad U_1 = 1 \text{ V}_{ss} \quad f_2 = 5 \text{ kHz} \quad U_2 = 1 \text{ V}_{ss}.$$

Bei der Simulation mit dem LabView-Programm verwenden Sie die gleichen Parameter wie in Aufgabe 3.3 um einen Modulationsgrad von 100% zu erreichen.