

HAW Hamburg		Department Informations- und Elektrotechnik	K-Labor
Studiengruppe:			Protokollführer:
Übungstag:			weitere Versuchsteilnehmer:
Professor:	Testat:		
Versuch GNP-4		Mss/16.03.14	
<i>Pulse-Code-Modulation</i>			

1 Einführung

Das in der Kommunikationstechnik gängigste Verfahren zur Umwandlung eines analogen Quellensignals (z.B. Sprache) in ein Digitalsignal ist die Pulse-Code-Modulation (PCM). Dabei durchläuft das Analogsignal die drei Verarbeitungsschritte Abtastung, Quantisierung und Codierung.

Im Praktikumsversuch sollen durch Messungen an einem PCM-Modulator die Einflüsse verschiedener Verarbeitungsparameter auf das PCM-Signal untersucht werden. Da ausschließlich analoge Messgeräte zur Verfügung stehen, wird das digitale PCM-Signal wieder in ein Analogsignal zurückgewandelt, das dann aber alle Eigenschaften eines PCM-Signals wie Spektralverteilung, Quantisierungsfehler und Codierungsmerkmale aufweist.

Als PCM-Modulator/Demodulator wird ein DSP-Evaluation-Board DSP56002 EVM verwendet. Der darauf befindliche AD-/DA-Umsetzer (CODEC) wandelt die an den Eingängen A-IN und B-IN liegenden Spannungen intern mit der maximal möglichen Abtastfrequenz von 48kHz in 16bit-Datenworte bzw. wandelt sie mit derselben Frequenz über D/A-Umsetzer wieder in Analogspannungen und gibt sie über den Ausgang A-OUT aus.

Alle analogen Ein- und Ausgänge sind wechselspannungsgekoppelt.

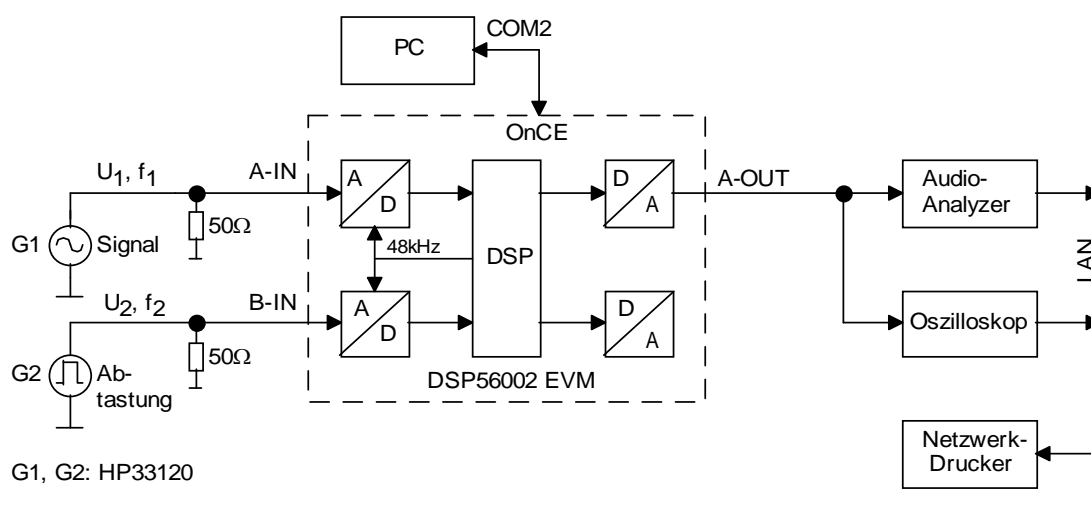


Bild 1: Blockschaltbild des Messaufbaus

Hinweis: Die HP33120-Funktionsgeneratoren zeigen den Wert der Ausgangsspannung nur bei 50Ω Last korrekt an, ohne Last wird der doppelte angezeigte Wert abgegeben. **Bei Verwendung der Philips-Funktionsgeneratoren PM 5138/39 sollten die beiden 50Ω Lastwiderstände entfallen**, da bei diesen Generatoren die angezeigte Spannung im Leerlauf abgegeben wird, dagegen bei 50Ω Last nur der halbe angezeigte Wert.

In den Messungen soll die Abtastfrequenz von außen veränderbar sein. Das wird über ein am Eingang B-IN liegendes Rechtecksignal erreicht. Es bestimmt die Abtastung des an A-IN liegenden Analogsignals dadurch, daß bei Überschreiten einer bestimmten Spannung an B-IN der an A-IN liegende Momentanwert mit Hilfe des Signalprozessors zum Ausgang weitergegeben wird. Beim vorliegenden Aufbau muss zwischen der Frequenz an B-IN und der internen Abtastfrequenz ein ganzzahliger Zusammenhang bestehen, d.h. $48\text{kHz}/f_{\text{B-IN}} = 2,3,\dots,N$. Nur dann erscheint am Ausgang ein für die Untersuchungen geeignetes Abtastsignal. Für die einzelnen Messungen müssen Programme geladen, gestartet und Parameter verändert werden. Das geschieht mit Hilfe des Debuggers "DEBUG EVM56002".

Den Zugriff auf den Debugger und die Programme erhält man durch Einloggen auf dem Labor-PC unter dem Namen „GNP“. Danach lassen sich die Programme durch Aufruf der Batch-Datei "PCM-Musterdateien kopieren" auf den PC laden. Im aktiven Fenster kann dann der Debugger gestartet werden.

Funktion der Programme

INOUT:	Durchschaltung von A-IN auf A-OUT zur Messung der Durchgangsverstärkung (bei Bedarf). Interne Abtastung mit 48kHz/16 Bit.
8-LIN:	Abtastung und lineare A/D-Umsetzung mit 8 Bit, D/A-Umsetzung des 8 Bit-Datums und Ausgabe an A-OUT
8-AK:	Abtastung, A/D-Umsetzung und nichtlineare Komprimierung (A-Kennlinie) auf 8 Bit, D/A-Umsetzung des 8 Bit-Datums und Ausgabe an A-OUT
16-LIN:	Abtastung und lineare A/D-Umsetzung mit 16 Bit, D/A-Umsetzung des 16 Bit-Datums und Ausgabe an A-OUT
1b16-LIN:	Abtastung und lineare A/D-Umsetzung mit 16 Bit, Maskierung von Bits mit Bitmaske unter X:0010h, D/A-Umsetzung des maskierten Datums und Ausgabe an A-OUT

Inbetriebnahme des Evaluation-Boards

- Verbindung COM2 (PC) - OnCE-Anschluß (DSP-Board) herstellen
- DSP-Board über Steckernetzteil einschalten
- Programm "Debug EVM56002" starten

Unter dem Menüpunkt "File/Load" können die Programme (siehe Aufgabenstellung) geladen werden. Mit Menüpunkt "Run/Run" werden die Programme gestartet, mit "Run/Stop" wird die Programmausführung unterbrochen.

Audio Analyzer UPV

Die Einstellung des Audio-Analyzers wird mit der Setup-Datei PCM.set vorgenommen. Die darin voreingestellten Werte lassen sich bei Bedarf verändern.

Geladen wird die Setup-Datei über Eingabe von Menü/File/LoadSetup oder direkt über die Taste „Load“ im Feld „Setup“ der Frontplatte.

Die Setup-Datei hat 4 Screens, die über die Frontplattentaste oder per Maus durch Führen zur rechten Bildschirmseite ausgewählt werden können, siehe folgende Seite.

Screen 1 beinhaltet die Konfiguration und die Funktion des Analyzers.

In Screen 2 wird die Spektrumdarstellung, die Messung der Eingangsspannung und des Klirrfaktors eingestellt.

Screen 3 zeigt die grafische Darstellung des Spektrums und die Messwerte von Eingangsspannung und Klirrfaktor.

Mit Screen 4 wird der Zeitverlauf der Eingangsspannung dargestellt.

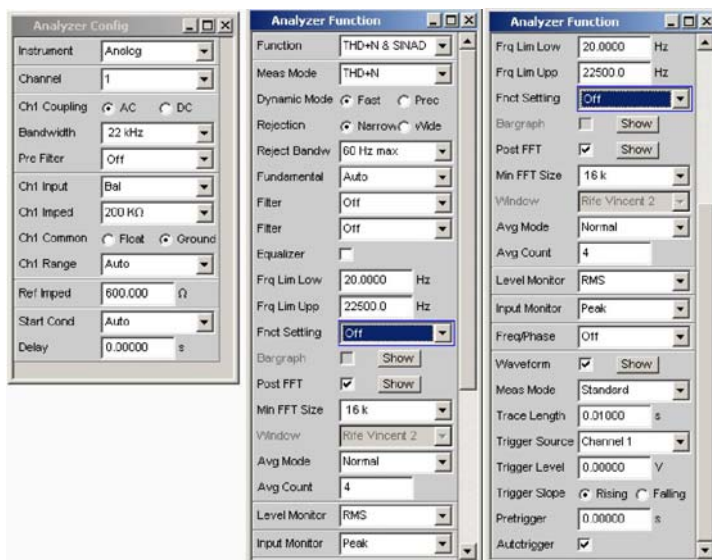


Bild 2: Screen 1, Setup-Datei. PCM.set

Feld Analyzer Config:

Mit Instrument wird festgelegt, dass analoge Signale analysiert werden. Es wird nur das Signal von Kanal 1 analysiert.

Die Bandbreite wird auf 22kHz begrenzt. Die Eingangsimpedanz beträgt 200kΩ und hat Massebezug.

Bei PreFilter muss unter Punkt 2.3 und 2.4 die Einstellung geändert werden.

Feld Analyzer Function:

Function=THD+N & SINAD bedeutet, dass der Klirrfaktor als Quotient von Oberschwingungen und Störungen zu Gesamtschwingung und Störungen berechnet wird. Die Grundschwingung wird mit einer schmalen Bandsperr (Rejection=Narrow) unterdrückt.

Es wird eine FFT der Eingangszeitfunktion berechnet, Länge 16384; dabei wird der Mittelwert von 4 Datensätzen zur Berechnung benutzt (reduziert das Rauschen).

Die Eingangszeitfunktion (waveform) wird angezeigt.

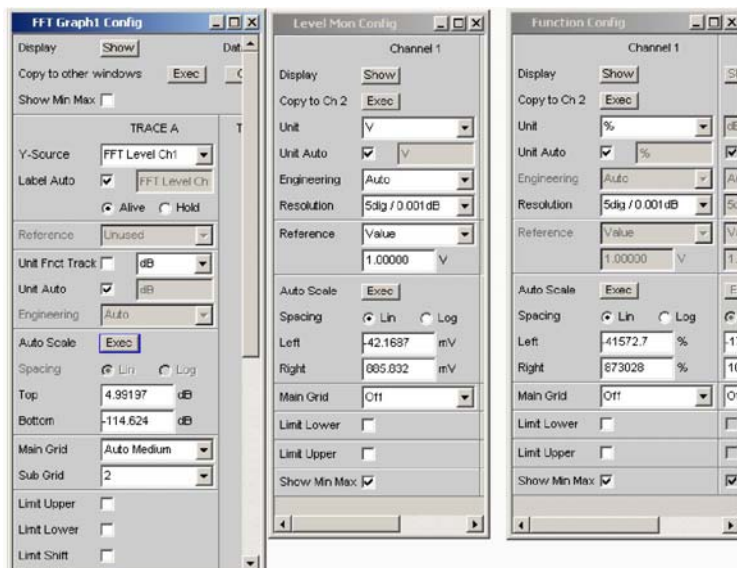


Bild 3: Screen 2, Setup-Datei. PCM.set

Feld FFT Graph1 Config:

Hier werden alle Einstellungen zur Spektrumdarstellung vorgenommen. Man erreicht das Feld direkt aus der grafischen Darstellung durch Anklicken der rechten Maustaste.

Felder Level Mon Config und Function Config:

Wichtig sind die Einstellungen zu Unit, z.B. um die Eingangsspannung als Pegel darzustellen, und die Felder Auto Scale Exec.

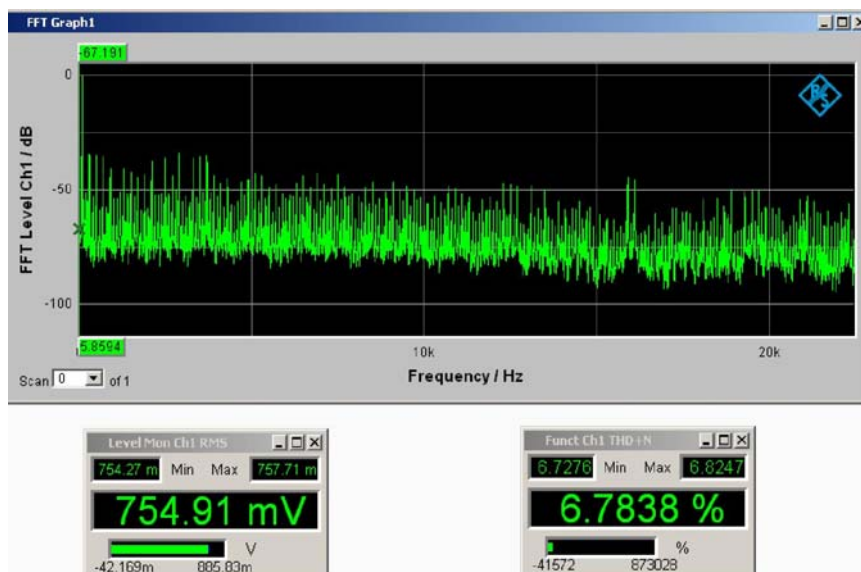


Bild 4: Screen 3, Setup-Datei. PCM.set

Feld FFT Graph1:

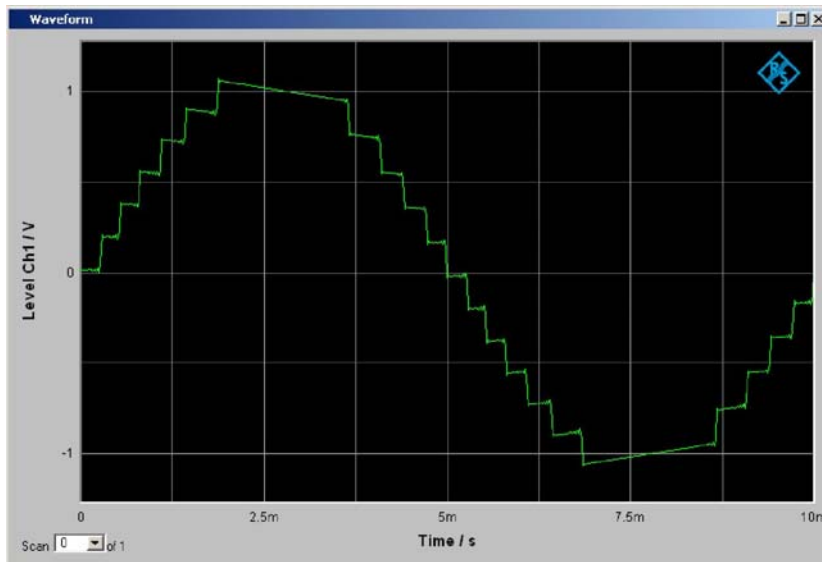
Die Pegel werden in dB angezeigt, wobei 0dB der Spannung von 0,775V entspricht. Die Bezugsgröße kann im Feld „FFT Graph1 Config“ verändert werden.

Feld LevelMon Ch1 RMS:

Die Eingangsspannung betrug ca. 200mV.

Feld FuncCh1 THD all di:

Der Klirrfaktor (THD) betrug 6,78%.

**Feld Waveform:**

Es wird der Zeitverlauf der Eingangsspannung angezeigt. Durch Anklicken der rechten Maustaste gelangt man direkt in das Feld „Waveform Config“ und kann z.B. den Massstab in x- und y-Richtung ändern

Bild 5: Screen 4, Setup-Datei.

PCM.set

2 Messungen

Die Messungen sind im Protokoll mit den Plots der Schirmbilder von Oszilloskop und Spektrumanalysator zu dokumentieren. Eine Übersicht der Messungen findet sich im Abschnitt 4 und sollte vor Abschluss der Laborveranstaltung auf Vollständigkeit überprüft werden.

2.1 Messung des Eigenklirrfaktors des Generators

Mit dem Audio-Analyzer ist zu überprüfen, ob der Klirrfaktor des für das Eingangssignal benutzten Funktionsgenerators ausreichend klein ist. Für ein sinusförmiges Signal von 1kHz und 1V Ausgangsspannung sind mit dem Audio-Analyzer das Ausgangsspektrum bis 24kHz und der Klirrfaktor zu messen.

Das Schirmbild mit Spektrum und Klirrfaktor ist zu plotten. Der gemessene Wert für den Klirrfaktor ist mit der Angabe aus dem Handbuch zu vergleichen.

2.2 Zeitfunktion und Spektrum des Abtastsignals

Programm "16-LIN" laden und starten

Einstellungen:

Generator 1: Sinus, $U_1=5V_{pp}$ (an 50 Ω , HP33120), $f_1=100Hz$ bzw. 1kHz

Generator 2: Rechteck, $U_2=2V_{pp}$ (an 50 Ω , HP33120), $f_2=8kHz$

- Messen Sie bei $f_1=100 Hz$ mit dem Oszilloskop Ein- und Ausgangsspannung und bestimmen Sie daraus die Durchgangsverstärkung.
- Messen Sie bei $f_1=1kHz$ am Ausgang A-OUT den Zeitverlauf (über 2 Perioden) und das Betragsspektrum ($f=0,1..20kHz$) und stellen Sie die Verläufe grafisch dar. Der Zeitverlauf kann auch mit dem UPV abgebildet werden (Screen 4, Zeitbereich 0..2msec)

2.3 Klirrfaktor und Signal-Störabstand bei variabler Amplitudenauflösung

Einstellungen: Programm "1b16-LIN" laden und starten

Generator 1: Sinus, $U_1=5V_{pp}$ (an 50 Ω , HP33120), $f_1=100Hz$

Generator 2: Rechteck, $U_2=2V_{pp}$ (an 50 Ω , HP33120), $f_2=16kHz$

Bei dieser Messung muss das Signal im Analyzer vorgefiltert werden. Dazu ist im Screen 1 im Feld „Analyzer Config“ für „Pre Filter“ die Einstellung „5:NO 16kHz“ zu wählen

Der Klirrfaktor der Spannung ist für eine Amplitudenauflösung von $n = 1..8 \text{ bit}$ zu messen.

Auswertung: Aus dem Klirrfaktor ist der Signal-Störleistungsabstand $SNR(dB) = 10 \cdot \log(P_s/P_n)$, siehe Anhang, zu berechnen und tabellarisch und grafisch in Abhängigkeit von n darzustellen, $SNR=f(n)$. Die Ergebnisse sind mit den theoretischen Werten zu vergleichen!

Die Amplitudenauflösung kann mit Hilfe einer "Bitmaske" in der Speicherzelle x:\$0010 folgendermaßen verändert werden:

- Programm anhalten
- Mit "View/Data" Datenspeicher anzeigen
- Wort unter Adresse X:0010 verändern: FFFF00: Auflösung 16 bit
FF0000: Auflösung 8 bit
FE0000: Auflösung 7 bit
FC0000: Auflösung 6 bit
F80000: Auflösung 5 bit
F00000: Auflösung 4 bit
E00000: Auflösung 3 bit
C00000: Auflösung 2 bit
800000: Auflösung 1 bit

Nach Eingabe des Wortes (mit >Return< abschließen) Programm wieder starten. Für $n=4$ Bit sind die Spannung und das Spektrum an A-OUT zu messen und zu plotten.

2.4 Klirrfaktor bei linearer und nichtlinearer Quantisierung

a) Lineare Quantisierung mit 8 bit

Einstellungen: Programm "8-LIN" laden und starten

Generator 1: Sinus, $U_1=50mV \dots 2V$ (an 50Ω , HP33120), $f_1=100Hz$

Generator 2: Rechteck, $U_2=2V_{pp}$ (an 50Ω , HP33120), $f_2=16kHz$

Der Klirrfaktor ist bei einer Ausgangsspannung des Generators 1 von $U_1=50mV$, $100mV$, $200mV$, $500mV$, $1V$ und $2V$ (Effektivwerte) zu messen!

Bei dieser Messung muss das Signal wieder im Analyzer vorgefiltert werden. Dazu ist im Screen 1 im Feld „Analyzer Config“ für „Pre Filter“ die Einstellung „5:NO 16kHz“ zu wählen

b) Nichtlineare Quantisierung mit Kompression nach A-Kennlinie

Einstellungen: Programm "8-AK" laden und starten

Generator 1: Sinus, $U_1=50mV \dots 2V$ (an 50Ω , HP33120), $f_1=100Hz$

Generator 2: Rechteck, $U_2=2V_{pp}$ (an 50Ω , HP33120), $f_2=16kHz$

Der Klirrfaktor ist bei einer Ausgangsspannung des Generators 1 von $U_1=50mV$, $100mV$, $200mV$, $500mV$, $1V$ und $2V$ (Effektivwerte) zu messen!

Bei dieser Messung muss das Signal wieder im Analyzer vorgefiltert werden. Dazu ist im Screen 1 im Feld „Analyzer Config“ für „Pre Filter“ die Einstellung „5:NO 16kHz“ zu wählen

3 Hörtest

Die Qualität eines Audio-Signals bei $16kHz$ Abtastfrequenz und variabler Amplitudenauflösung soll beurteilt werden, Messbedingungen wie unter 2.3.

Um das Signal hörbar zu machen wird im Menü unter Instrument/Auxiliaries der eingebaute Lautsprecher auf den Eingang (Channel 1) geschaltet, die Lautstärke ist mit dem Drehknopf einstellbar.

Messung: Audio-Signal an A-IN über Adapter einspeisen, Programm "1b16-LIN" laden und starten, die Amplitudenauflösung von 8 Bit abwärts bis 1 Bit verringern.

Es ist anzugeben, ab wie viel Bits eine deutlich hörbare Veränderung auftritt.

4 Hinweise zum Protokoll, Auswertung

Das Protokoll soll folgende Ergebnisse enthalten:

- Zu 2.1: Plot des Spektrums, Klirrfaktor, Klirrfaktor aus Handbuch (harmonic distortion)
Geben Sie an, welchen Klirrfaktor ein Generator zur Messung eines 16Bit Umsetzers haben sollte, bestimmen Sie das SNR und machen Sie eine Aussage, ob unter den Bedingungen im Labor diese Werte messbar sind oder durch Störungen überlagert werden.
- Zu 2.2: Ein- und Ausgangsspannung zu a), Berechnung der Durchgangsverstärkung, Plot von Zeitfunktion und Spektrum der Ausgangsspannung zu b),
Tabellarische Auflistung der Spektralampplituden bei den Frequenzen $f_a \pm f_s$ bis 20kHz,
In der Tabelle Angabe der theoretischen Werte der Spektrallinien bei $f_a \pm f_s$ unter Berücksichtigung der Durchgangsverstärkung
- Zu 2.3: Plot von Zeitfunktion und Spektrum für $n=4\text{Bit}$,
Grafische Darstellung von $k=f(n)$ und $\text{SNR}=f(n)$
- zu 2.4: Der Verlauf $k=f(U_1)$ ist für beide Messungen in einem gemeinsamen Plot darzustellen,
Der Verlauf $\text{SNR}=f(U_1)$ ist für beide Messungen in einem gemeinsamen Plot darzustellen,

5 Formeln zur Berechnung

1. Betragsspektrum eines abgetasteten sinusförmigen Signals

Vor der Abtastung

$$u(t) = \hat{u} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot t) \quad \longleftrightarrow \quad |U(f)| = \frac{\hat{u}}{2} \delta(f - f_s) + \frac{\hat{u}}{2} \delta(f + f_s)$$

Es gibt ein Linienspektrum mit Amplituden bei $f = \pm f_s$.

Nach einer idealen Abtastung mit Abtastfrequenz f_a und Abtastintervall $T_a = 1/f_a$

$$S_a(f) = \frac{1}{T_a} \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} S(f - n \cdot f_a) \quad \rightarrow$$

$$|U_a(f)| = \frac{1}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [\delta(f - (nf_a + f_s)) + \delta(f - (nf_a - f_s))]$$

Es entsteht ein Linienspektrum mit Amplituden bei $f = \pm f_s$, $f = f_a \pm f_s$, $f = 2f_a \pm f_s$, $f = 3f_a \pm f_s$, ... und einer konstanten Amplitude.

Nach einer realen Abtastung, T_0 : Haltdauer einer Torschaltung

$$S_R(f) = S_a(f) \cdot T_0 \cdot \text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot f) \quad \rightarrow$$

$$|U_R(f)| = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [\delta(f - (nf_a + f_s)) + \delta(f - (nf_a - f_s))] \cdot |\text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot f)|$$

$$|U_R(f)| = u_{sp} \cdot \sum_{n=-\infty}^{+\infty} [\delta(f - (nf_a + f_s)) + \delta(f - (nf_a - f_s))]$$

$$\text{mit } u_{sp} = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot |\text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot f)|$$

u_{sp} ist frequenzabhängig.

Frequenz	Höhe der Spektrallinieren
$f = \pm f_s$	$u_{sp} = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot \text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot f_s) $
$f = f_a - f_s$	$u_{sp} = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot \text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot (f_a - f_s)) $
$f = f_a + f_s$	$u_{sp} = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot \text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot (f_a + f_s)) $
$f = 2f_a - f_s$	$u_{sp} = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot \text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot (2f_a - f_s)) $
$f = 2f_a + f_s$	$u_{sp} = \frac{T_0}{T_a} \cdot \frac{\hat{u}}{2} \cdot \text{si}(\pi \cdot T_0 \cdot (2f_a + f_s)) $
.....	

Zum Vergleich mit den Messergebnissen müssen die Durchgangsverstärkung des Evaluation-Boards und die Amplituden-Bezugsgröße bei der logarithmischen Darstellung des Spektrums auf dem Spektrumanalysator (1V, 0,775V oder 0,24V) bekannt sein. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass ein Spektrumanalysator immer Effektivwerte anzeigt.

2. Signal-Stör-Verhältnis und Klirrfaktor eines abgetasteten und quantisierten Signals

Mit P_s = Signalleistung,
 P_n = Störleistung (durch Quantisierungsverzerrungen),
 n = Auflösung (Bitzahl) bei Binärcodierung

gilt **bei Vollaussteuerung** für das Verhältnis Signalleistung zu Störleistung

- a. bei dreieckförmigen Signalen: $P_s/P_n = 2^{2n}$
 b. bei sinusförmigen Signalen: $P_s/P_n = 2^{2n} \cdot 1,5$

bzw. für die Signal-Störabstände ($\text{SNR} = 10 \cdot \lg(P_s/P_n)$)

- a. bei dreieckförmigen Signalen: $\text{SNR} = n \cdot 6\text{dB}$
 b. bei sinusförmigen Signalen: $\text{SNR} = n \cdot 6\text{dB} + 1,76\text{dB}$

Zusammenhang zwischen Klirrfaktor und Signal-Störleistungsverhältnis

$$\text{Klirrfaktor: } k = \frac{U_n}{U_{\text{ges}}}; \quad k^2 = \frac{U_n^2}{U_{\text{ges}}^2} = \frac{U_n^2}{U_s^2 + U_n^2} = \frac{P_n}{P_s + P_n}$$

mit U_n = Störspannung (Verzerrungen)
 U_{ges} = Gesamtspannung
 U_s = Signalspannung

$$\text{Daraus ergibt sich: } k = \frac{1}{\sqrt{P_s/P_n + 1}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{P_s}{P_n} = \frac{1}{k^2} - 1$$