

Multibitwandler:

- digitale Signale bestehen aus einer endlichen Anzahl an Zeichen (Bsp: -32 bis 32)
- Treppenkennlinie → Quantisierungsstufen
- analoge Folgen kann man mit Hilfe der Treppenfunktion als Wertereihen betrachten
- Anzahl der quantisierenden Stufen → Wortbreite des Digitalwortes

digitale Signale & Systeme:

- Vorteil: Umsetzung von Prozessen mit verschiedenen Algorithmen durch Programmierung möglich → auf Dauer keine hohen Bauteilkosten
- ➔ WICHTIG: Es können digital nicht mehr und nicht weniger Prozesse und Umformungen gemacht werden, als analog!!
- binäre Darstellung von Signalen bei einer Wortbreite $M = 2^M$ darstellbare Werte
- Codierung in Zweierkomplementdarstellung (two's complement) → $2^M - 1$ darstellbare Werte
- Beispiele:
 - $8 \text{ Bit} \rightarrow 2^8 - 1 = 255$
 - $12 \text{ Bit} \rightarrow 2^{12} - 1 = 4095$
 - $16 \text{ Bit} \rightarrow 2^{16} - 1 = 65.535$
 - $24 \text{ Bit} \rightarrow 2^{24} - 1 = 16.777.215$
- immer nur die Hälfte der Stufen wird positiv und negativ genutzt
- es entsteht ein wertekontinuierliches Signal = wertequantisertes Signal + Quantisierungsfehler
 - Beispiel: harmonische Sinus Schwingung bei Vollaussteuerung des digitalen Systems

Quantisierungsfehler:

- Quantisierungsrauschen (quantising noise) bei zeitveränderlichen Signalen, stochastischen Signalen
- Granularrauschen (granular noise) bei periodischen Signalen, insbesondere bei kleinen Amplituden
- ➔ das digitale System hat eine Dynamik (Systemdynamik), begrenzt durch die maximal quantisierbare Amplitude (obere Begrenzung) und das Quantisierungsrauschen (untere Grenze)

Dynamikbereich digitaler Systeme:

- maximale darstellbare Amplitude in einem M-Bit-System der Stufenhöhe q (Wann übersteuert der A/D-Wandler)

$$\hat{u}_s = \frac{2^M}{2} \cdot q = 2^{M-1} \cdot q \quad (\text{Bezug zur Angabe des Maximums in dBFS-Skala})$$

- Effektivwert:

- Berechnung eines beliebigen Effektivwertes über die Formel $\sqrt{\int u_q^2(t) dt}$

○ Beim Sinus ergibt sich $u_{eff} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$

➔ Berechnung des Verhältnisses der Effektivwerte von u_S und u_R (u_R = Rauschamplitude)

$$\rightarrow \hat{u}_S = 2^{M-1} \cdot q \rightarrow \tilde{u}_R = \frac{2^{M-1} \cdot q}{\sqrt{2}}$$

$$\rightarrow \hat{u}_R = \frac{q}{2} \rightarrow \tilde{u}_R = \frac{q}{\sqrt{12}}$$

SNR-Berechnung (signal to noise ratio)

$$\begin{aligned} SNR &= 20 \cdot \lg \left(\frac{2^{M-1}}{\sqrt{2}} \cdot q \cdot \frac{\sqrt{12}}{q} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{2^{M-1} \cdot \sqrt{12}}{\sqrt{2}} \right) \\ &= 20 \cdot \lg \left(2^{M-1} \cdot \frac{\sqrt{12}}{\sqrt{2}} \right) = 20 \cdot \lg \left(2^M \cdot \frac{\sqrt{6}}{2} \right) \\ &= 20 \cdot M \cdot \lg(2) + 20 \cdot \lg \left(\frac{\sqrt{6}}{2} \right) \end{aligned}$$

$$SNR = M \cdot 6,02dB + 1,76dB$$

$$SNR \approx M \cdot 6dB$$

➔ Dynamik eines digitalen Systems bei Vollaussteuerung eines Sinussignals

Beispiele:

$$M = 8Bit \rightarrow SNR = 49,9dB$$

$$M = 12Bit \rightarrow SNR = 74,0dB$$

$$M = 16Bit \rightarrow SNR = 98,1dB$$

$$M = 24Bit \rightarrow SNR = 146,2dB$$

- im Tonstudio setzt man 24-Bit Wandler ein, um Headroom zu erzeugen, damit die Signale nicht sofort verzerren (10-20dB Headroom)
- Signalverarbeitung mit 24 Bit → 16 Bit beim Brennen auf CD

$$SNR = 20 \cdot \lg \left(\frac{\tilde{u}_S}{\tilde{u}_R} \right) = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_S}{P_R} \right)$$

Beispiel: CD Produktion im Tonstudio

- Signal (Programmdynamik: Abstand leisester – lautester Ton, Bsp. Sprache: 80dB, Musik 10-80dB) → SNR
- digitales System (Systemdynamik) → SNR
- ... (Zwischenschritte, verschiedene Systeme)
- ADC (analog/digital converter) → A/D Wandler
- ➔ jedes System rauscht → endliches SNR (thermisches Rauschen = weißen Rauschen)

Systemdynamik: Abstand Arbeitspegel – Rauschteppich (Störspannungsabstand, dynamischer Headroom)

→ $SNR_{system} \geq SNR_{signal}$ (Übertragung ohne Informationsverlust)

→ jede Folgestufe muss im SNR vergrößert sein → hohe Anforderungen an Studiogeräte

Inhalt eines Samples:

- 90dB → 15 signifikante Bits → bei gleichmäßiger Aussteuerung liegen diese mittig im Sample und belegen nicht die Positionen von LSB und MSB (least/most significant bit)

Requantisierung (mit Wortbreitenreduktion):

1. Normalisieren → alle Bits werden nach oben verschoben → bis zum MSB
 2. Truncation (Kürzen des Datenwortes) → Abschneiden beim unteren signal-relevanten Bit (bei 24Bit auf 16Bit ist dies das 8.Bit (0-7 werden abgeschnitten))
- das 16. Bit (15 signifikante) enthält z.B. Mikrofonrauschen
→ Normalisieren erhöht die Lautheit, nicht den Signalpegel → wir hören ein lauterer Signal
→ im Normalfall werden bei 16Bit nur bis zu 12Bit angesprochen → im MSB passiert erst etwas ab einem Pegel von +6dBFS

Ein wenig Informationstheorie (Claude Shannon, Bell Laboratories, 40er Jahre)

- es gibt kein technisches Signal ohne Rauschen
- reales Signal = Original-Signal + Rauschen (werden summiert)
- Information ist endlich → es gibt eine kleinste Einheit
- ja/nein, 0/1 → es kann zwischen zwei Zuständen unterschieden werden → 1 Bit Information
- es kann nicht zwischen zwei Zuständen unterschieden werden → keine Information
- Bit = Einheit der Information (nicht mit Datenbit verwechseln)

- Signal wird summiert betrachtet → Rauschen enthält keine Information → summiertes Signal hat durch Rauschamplitude einen Informationsgehalt
- alles rauscht → Information ist endlich

Signalquader nach Shannon:

- Breite: Bandbreite (B in Hz)
- Höhe: Dynamik (D in bit)
- Tiefe: Dauer (T in sek)
- $B \cdot T \cdot D = I [bit]$