

Dipl.-Ing. Werner Henkel

Auflösungssteigerung in Umsetzerschaltungen

Angesichts der hohen Preise schneller, hochauflösender A/D-Umsetzer erscheint eine Kaskadierung von Umsetzern niedrigerer Auflösung als mögliche Alternative. In diesem Aufsatz wird ein Verfahren vorgestellt, das sich an eine in [1] angegebene Methode zur Auflösungssteigerung bei D/A-Umsetzern anlehnt. Zur Einführung in die Problematik sei jedoch zunächst auf zwei weitgehend bekannte Möglichkeiten der Realisierung eingegangen.

1 Bekannte Verfahren

Eine Auflösungssteigerung bei der A/D-Umsetzung um 1 Bit bedeutet eine Verdopplung der Anzahl der Quantisierungsstufen. Es liegt daher nahe, die Aussteuerbereiche zweier A/D-Umsetzer direkt aufeinander folgen zu lassen. Bild 1 zeigt die sich ergebende Anordnung. Es genügt dabei im allgemeinen nicht, den oberen Referenzanschluß des einen A/D-Umsetzers mit dem unteren des anderen zu verbinden, sondern es ist außer den Referenzen u_o und u_u eine Mittelreferenz u_m nötig. (Es kann sich sogar als sinnvoll erweisen, diese noch für beide A/D-Umsetzer getrennt zur Verfügung zu stellen.)

Nachteile dieser Anordnung liegen in den nichtidealen Eigenschaften der A/D-Umsetzer begründet. Die integrale Nichtlinearität kann um den Faktor 2 anwachsen, was oft nicht mehr akzeptabel ist. Außerdem werden Nichtlinearitäten am Rande des Aussteuerbereichs der A/D-Umsetzer in die Mitte des Gesamtaussteuerbereichs verlegt.

Die zweite, noch anzusprechende Methode erzeugt die Verdopplung der Anzahl der Quantisierungsstufen durch eine Verschiebung zweier Quantisierungskennlinien um $\frac{1}{2}$ LSB gegeneinander (siehe Bild 2). Neben den Schwierigkeiten beim Abgleich der Referenzspannungen wird diese Methode sehr problematisch bei Nichtlinearitäten in den A/D-Kennlinien.

Es sei an dieser Stelle noch darauf hingewiesen, daß beide Verfahren keine exakte Verdopplung der Stufen-

zahl erreichen, sondern $2^{n+1} - 1$ Stufen erzeugen (n: ursprüngliche Auflösung). Man beachte fernerhin, daß auch bei dem zweiten Verfahren eine Änderung des Aussteuerbereiches E eintritt. Als kurze Bewertung läßt sich sagen, daß beide vorgestellten Methoden durch relativ geringen Aufwand gekennzeichnet sind. Jedoch führen nichtideale Quantisierungskennlinien zu schlechten Ergebnissen bezüglich der zu erreichenden Linearität.

2 Alternativvorschlag zur Auflösungssteigerung

Die im folgenden dargestellte Methode arbeitet mit Überabtastung, d. h. mit einer höheren Abtastfrequenz als dies zur Erfüllung der Nyquist-Bedingung nötig

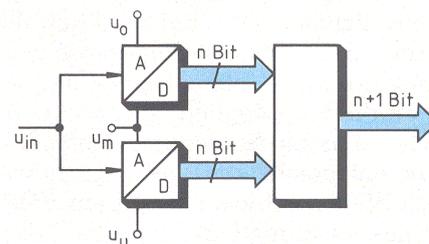


Bild 1. Eine der herkömmlichen Methoden zur Kaskadierung von A/D-Umsetzern. Nachteilig sind die verschiedenen Referenzspannungen und die anwachsenden Nichtlinearitäten

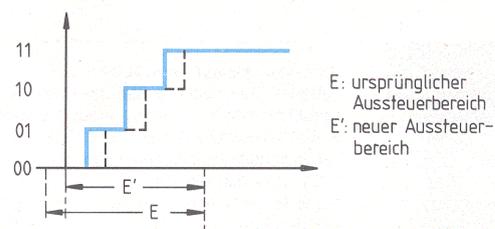


Bild 2. Eine weitere Möglichkeit, jedoch auch mit nicht unerheblichen Nachteilen: das „Verschachteln“ von Quantisierungskennlinien zur Auflösungssteigerung

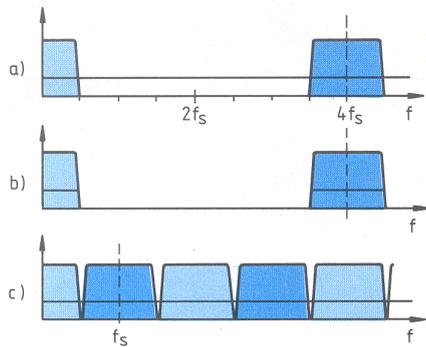


Bild 3. Spektrale Darstellung der Vorgänge bei der Auflösungssteigerung durch Überabtastung; Erläuterung siehe Text

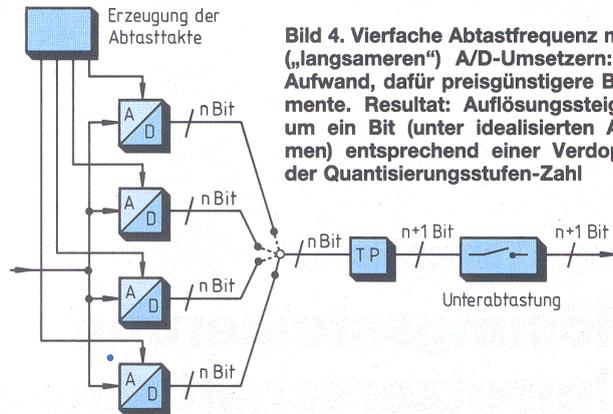


Bild 4. Vierfache Abtastfrequenz mit vier („langsameren“) A/D-Umsetzern: mehr Aufwand, dafür preisgünstigere Bauelemente. Resultat: Auflösungssteigerung um ein Bit (unter idealisierten Annahmen) entsprechend einer Verdopplung der Quantisierungsstufen-Zahl

wäre. Es zeigt sich, daß eine Überabtastung um den Faktor 4 einer Auflösungssteigerung um 1 Bit entspricht, wenn man die Annahme zugrunde legt, das Quantisierungsrauschen besitze ein konstantes Leistungsdichtespektrum („weißes“ Rauschen, siehe hierzu auch [1], [2]).

Zur näheren Erläuterung diene *Bild 3*. In *Bild 3a* ist das Leistungsdichtespektrum nach Abtastung dargestellt. Das Signalspektrum (farblich hervorgehoben) sei, wie schon bemerkt, auf ein Viertel der Nyquistfrequenz begrenzt und das Quantisierungsrauschen (nicht hervorgehoben) sei „weiß“. Nach [3], [4] folgt für die Rauschleistung:

$$P_R \sim q^2,$$

wobei q die Breite einer Quantisierungsstufe kennzeichnet. Mit einem digitalen TP-Filter wird nun der höherfrequente Teil des Quantisierungsrauschens (siehe *Bild 3b*) eliminiert. Eine Unterabtastung um den Faktor 4 erzeugt dann die ursprünglich gewünschte Abtastfrequenz (*Bild 3c*). Das zu verwendete Tiefpaßfilter muß natürlich eine entsprechende Wortlänge aufweisen. Es reduziert sich die Rauschleistung auf ein Viertel. Welcher Auflösungssteigerung entspricht dies? Es gilt

$$q = \frac{E}{2^n} \rightarrow n = \text{ld}(E/q)$$

$$\rightarrow \Delta n = n_1 - n_2 = \text{ld}\left(\frac{q_2}{q_1}\right) = \text{ld}\sqrt{P_{R2}/P_{R1}}$$

Es ergibt sich hiermit eine Erhöhung der Auflösung zu

$$\Delta n = \text{ld}\sqrt{4} = 1 \text{ Bit.}$$

Nicht zu unterschätzen ist bei der vorgestellten Methode sicherlich der Aufwand, der mit der vierfachen Abtastfrequenz verbunden ist. Es könnte dadurch die Verwendung von vier (langsameren) A/D-Umsetzern entsprechend *Bild 4* nötig werden. In diesem Fall bewirkt das Tiefpaßfilter zusätzlich eine Mittelung zwischen den Quantisierungskennlinien der beteiligten A/D-Umsetzern.

Literatur

- [1] Peek, H.: Communications Aspects of the Compact Disc Digital Audio System. IEEE communications magazine 2 (1985), S. 7–15.
- [2] Tewksbury, S. K., Hallock, R. W.: Oversampled, linear predictive and noise-shaping coders of order $N > 1$. IEEE Trans. on Circuits and Systems 7 (1978), S. 436–447.
- [3] Seitzer, D.: Elektronische Analog-Digital-Umsetzer. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag 1977.
- [4] Seitzer, D., Pretzl, G., Hamdy, N. A.: Electronic Analog-to-Digital Converters. Chichester, New York: John Wiley & Sons 1983.