

12 Digitale Messsysteme 4:

Digital/Analog- und Analog/Digital-Umsetzer

12.1 Grundlegendes zu Abtastsystemen, Quantisierung, Codierung

Abtasttheorem im Zeitbereich (sampling theorem)¹ *nach Prof. Lang!*

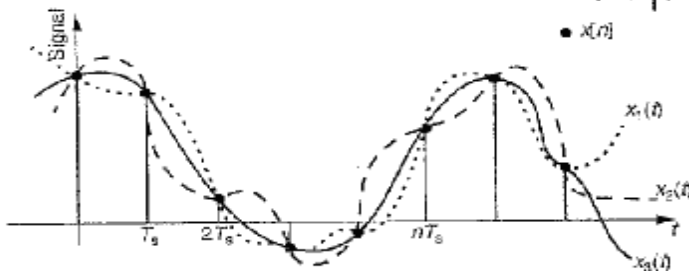
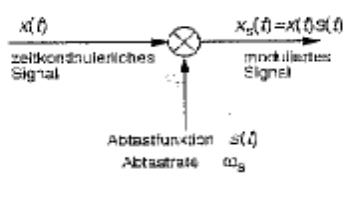


Bild 6.1: Verschiedene Signale $x_1(t)$, $x_2(t)$ und $x_3(t)$ mit identischen Stützstellen $x[n]$

Das Abtasttheorem legt die Bedingungen fest, unter denen eine eindeutige Signalrekonstruktion aus den Abtastwerten möglich ist:

$$x(t) \xrightarrow{\text{Abtasttheorem}} x[n] \quad (6.1)$$

6.1.1 Impulsmodulator



$s(t)$ sei eine Folge von Dirac-Impulsen:

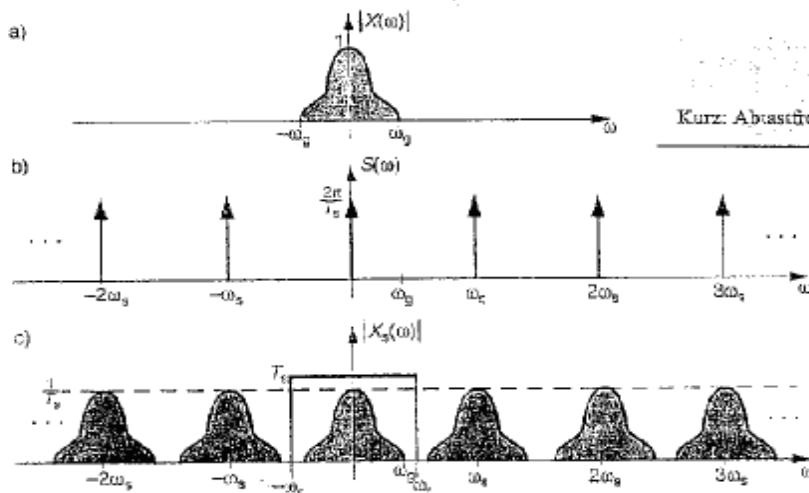
$$s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_s) \quad \text{mit } T_s = \frac{2\pi}{\omega_s} \quad (6.2)$$

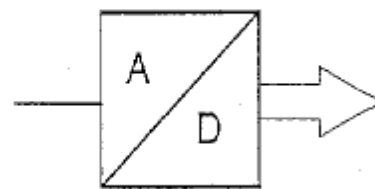
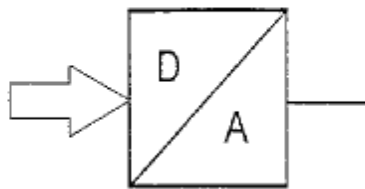
$$S(\omega) = \frac{2\pi}{T_s} \sum_{r=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - r\omega_s) \quad (6.3)$$

Bild 6.2: Amplitudenmodulation

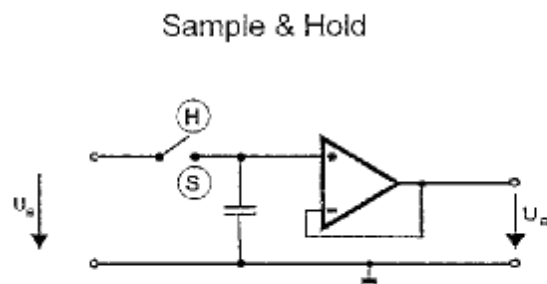
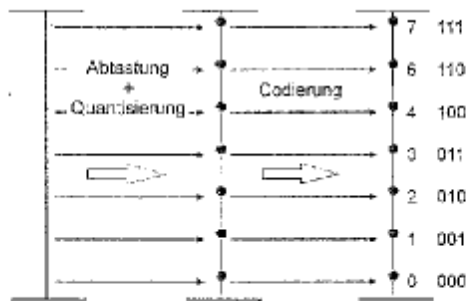
Dann ist:
$$x_s(t) = x(t)s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(nT_s)\delta(t - nT_s) \quad (6.4)$$

mit dem Spektrum:
$$X_s(\omega) = \frac{1}{2\pi} X(\omega) * S(\omega) = \frac{1}{T_s} \sum_{r=-\infty}^{\infty} X(\omega - r\omega_s) \quad (6.5)$$





Analog/Digital-Umsetzung



n bit-Umsetzung

häufige Codes: binär unipolar, binär bipolar (offset binary coded), BCD

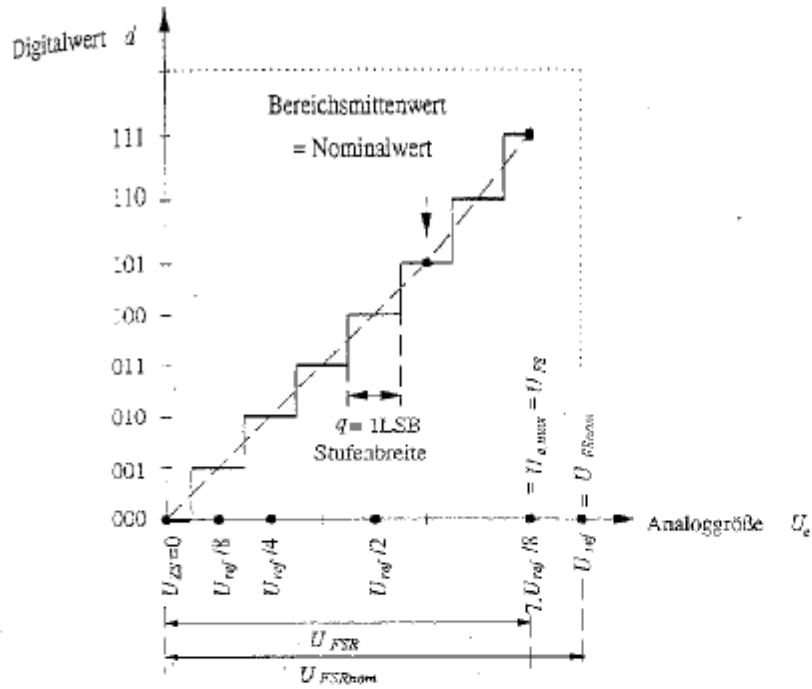
Digitaler Wert: (binär unipolar)

Zahl der Quantisierungsstufen:

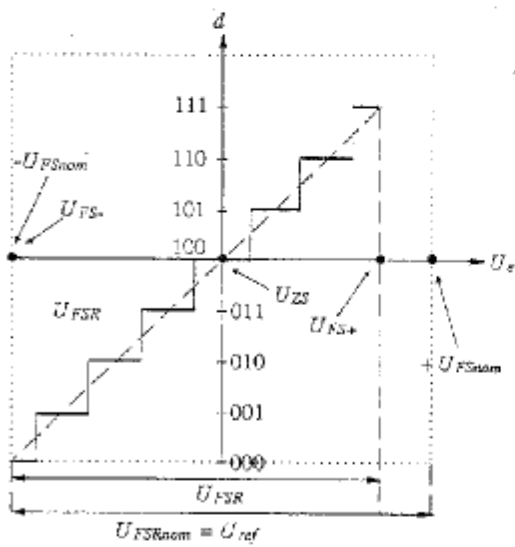
Quantisierungsintervall:

Digitalisierter Analogwert (binär unipolar):

typische Umsetzer-Kennlinien



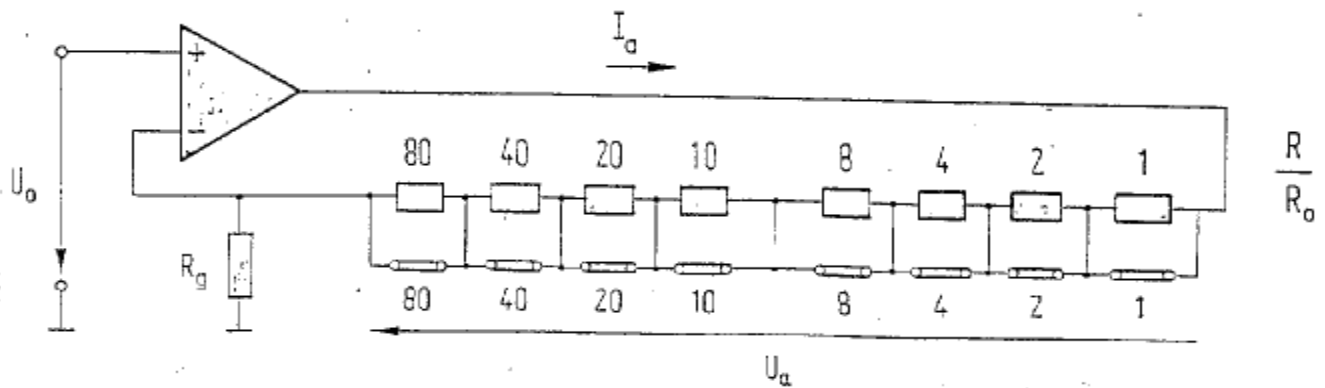
Unipolare binäre Codierung



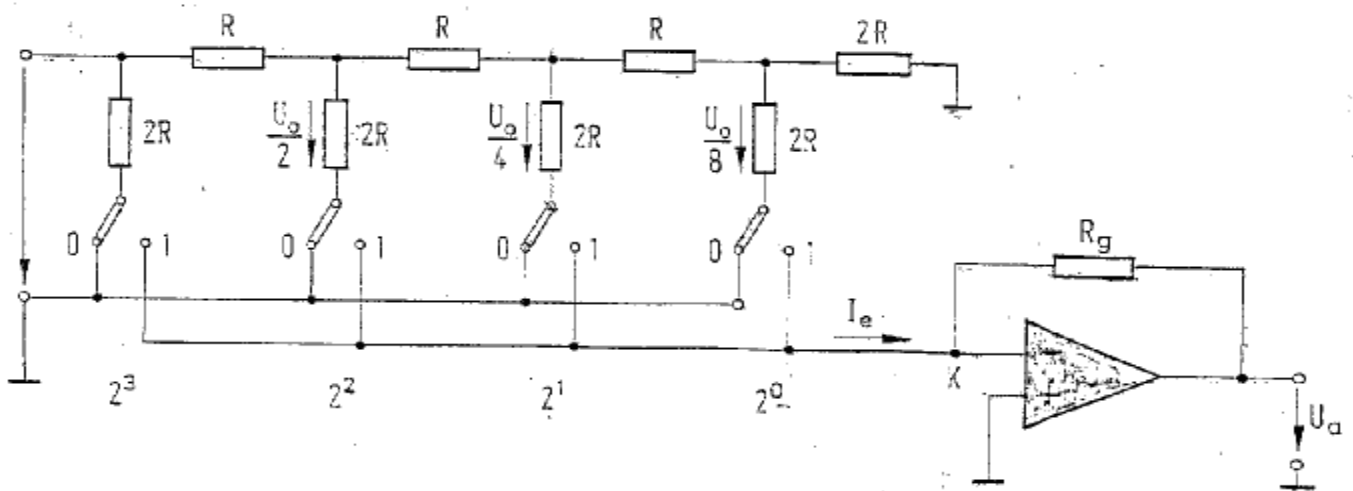
Bipolare binäre Codierung

12.2 Digital/Analog-Umsetzer

- DAU mit gewichteten Elementen und Spannungs-Summation



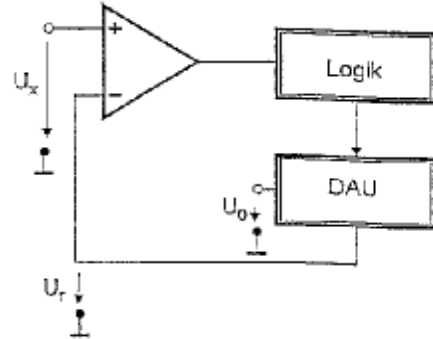
- DAU mit R/2R-Kettenleiter



12.3 Analog/Digital-Umsetzer

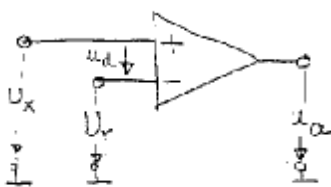
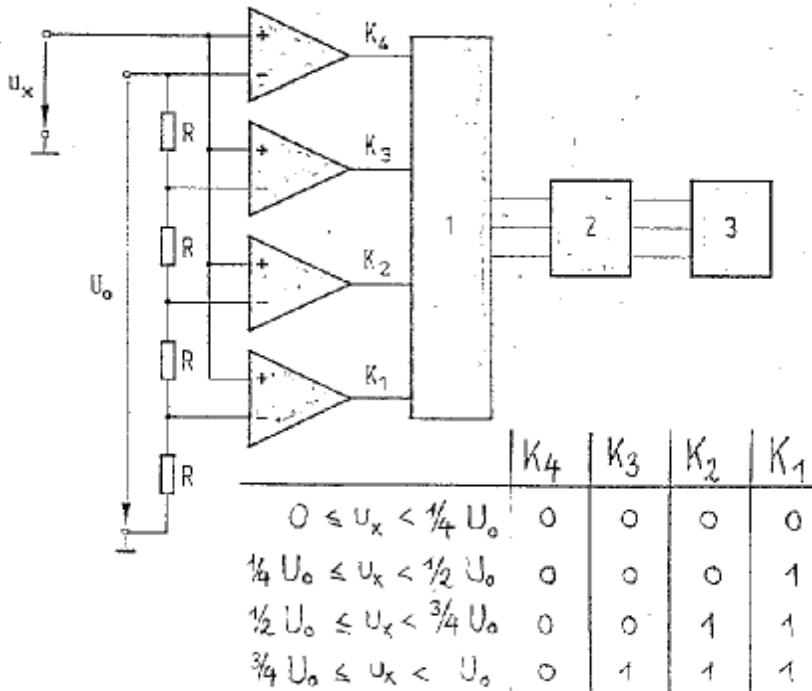
- Typen
- ADU mit direkter Umsetzung (->Flash-Converter)
 - ADU mit DAU in Rückkopplung

- inkrementaler ADU
- Nachlauf-ADU
- ADU mit sukzessiver Approximation)

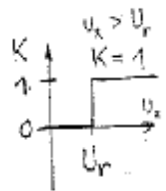
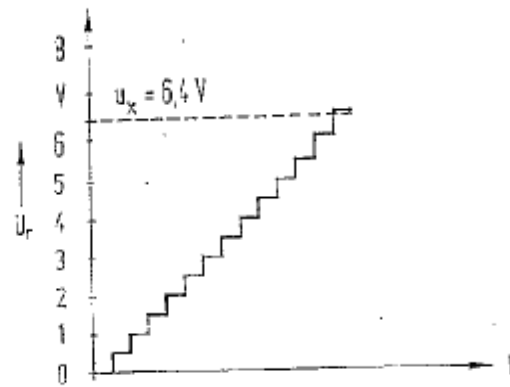
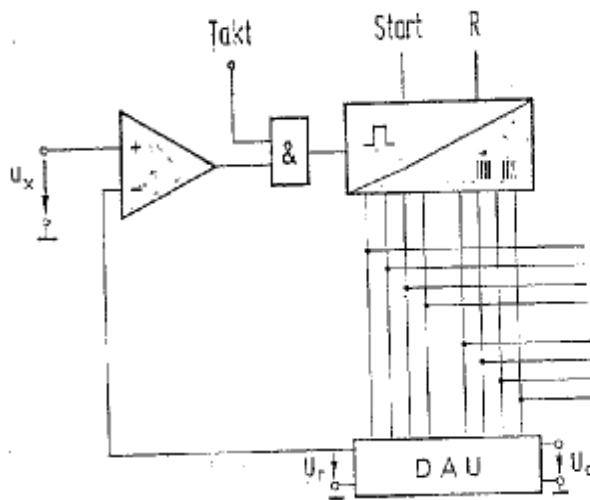


- ADU mit Zwischengröße Zeit (-> dual-slope ADU)
- Subranging-ADU)
- $\Delta\Sigma$ -ADU)

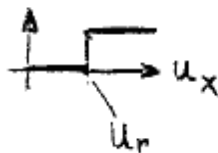
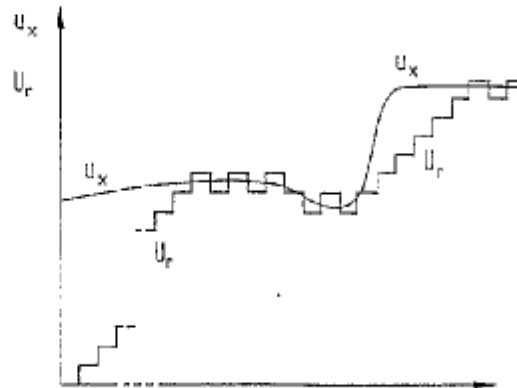
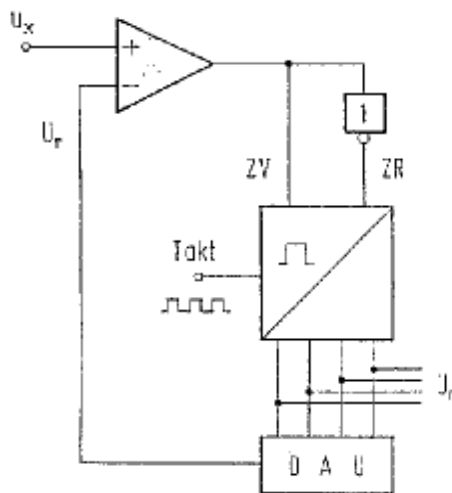
a) ADU mit parallelen Komparatoren (Flash-Converter)



b) Inkrementaler Stufen-ADU

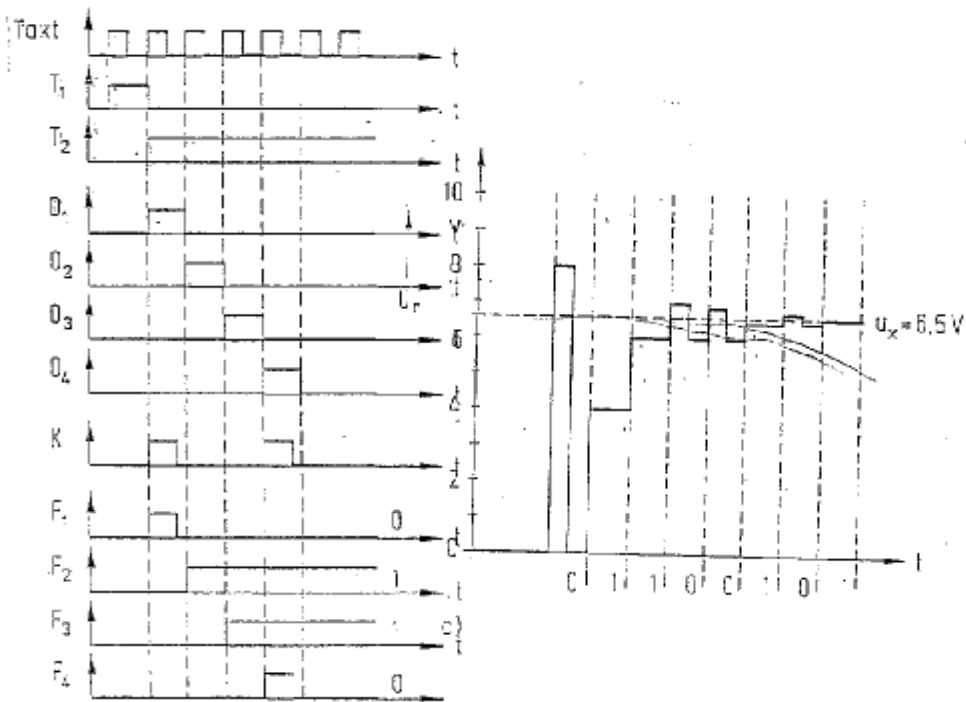
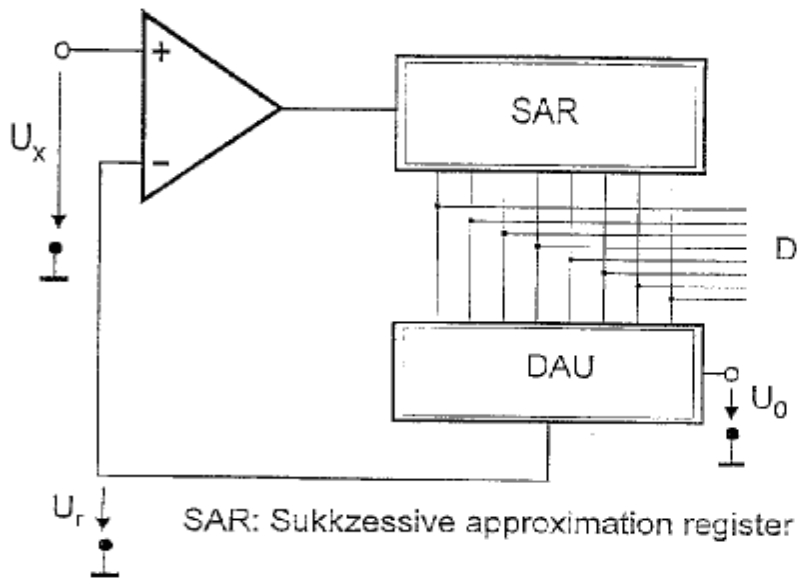


c) Inkrementaler Nachlauf-ADU

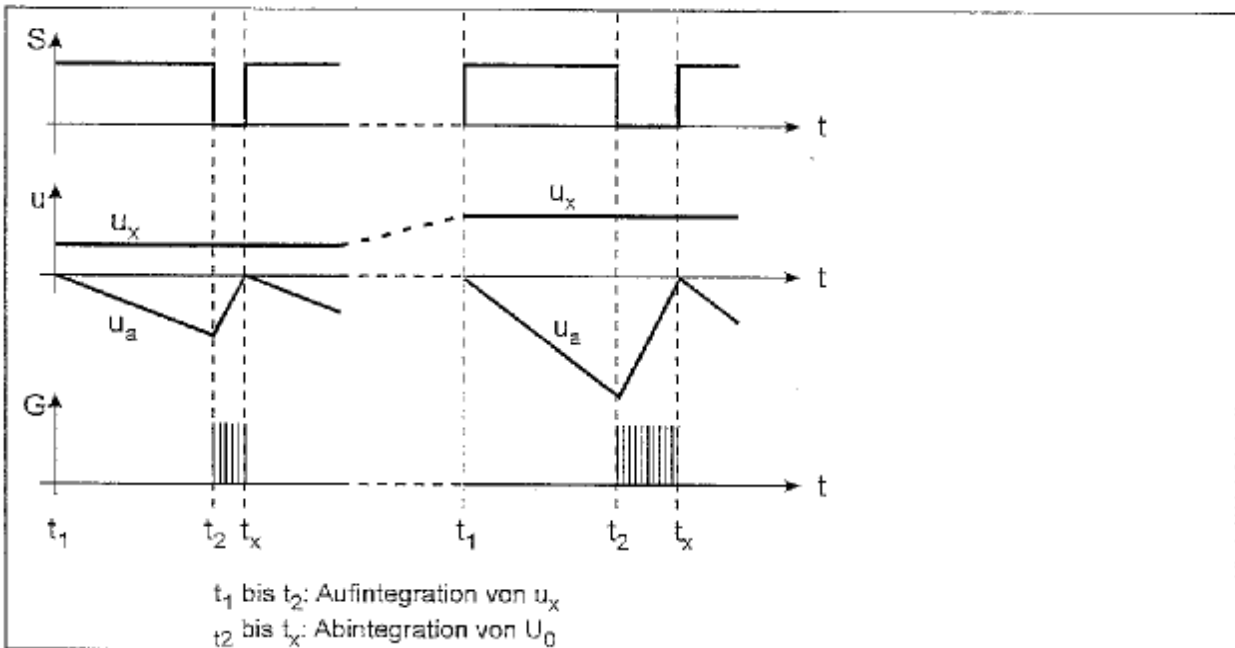
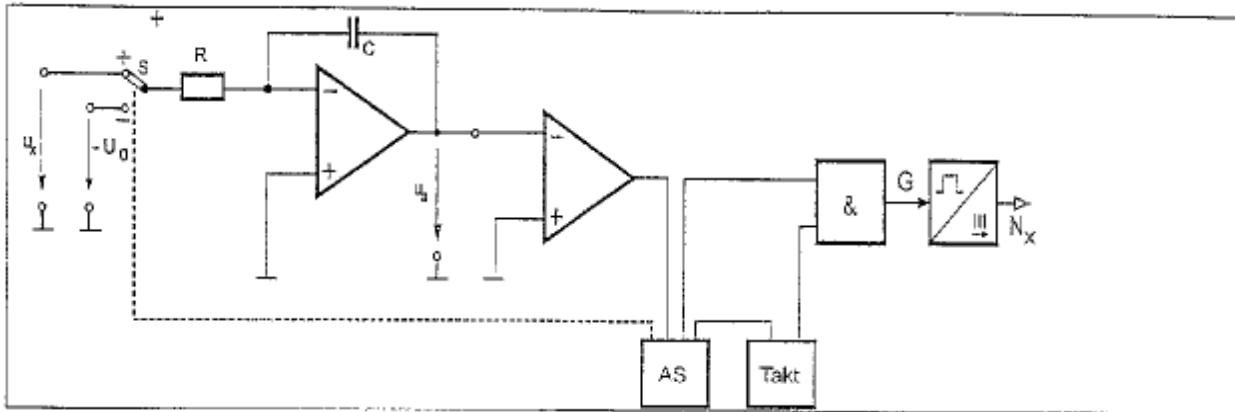


$u_x > u_r: K=1: ZY$
 $u_x < u_r: K=0: ZR$

d) ADU mit sukzessiver Approximation (SAR-ADU)



e) DualSlope-ADU (Zweirampen-ADU)



die Abintegrationszeit $t_2 - t_1$ ist vorgegeben

$$u_a(t_2) = -\frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} u_x dt$$

$$\bar{u}_x = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u_x dt$$

$$\int_{t_1}^{t_2} u_x dt = (t_2 - t_1) \bar{u}_x$$

$$u_a(t_2) = -\frac{1}{RC} \bar{u}_x (t_2 - t_1)$$

$$t_2 \leq t \leq t_x:$$

$$u_a(t) = u_a(t_2) - \frac{1}{RC} \int_{t_2}^t -U_0 d\tau$$

$$= -\frac{1}{RC} \bar{u}_x (t_2 - t_1) + \frac{1}{RC} U_0 (t - t_2)$$

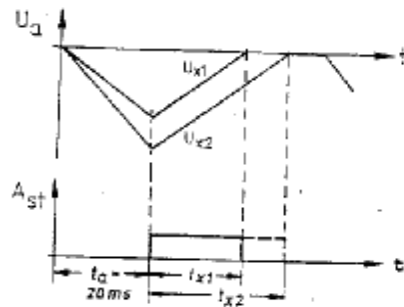
$$u_a(t_x) = 0$$

$$\rightarrow \frac{\bar{u}_x}{RC} (t_2 - t_1) = \frac{U_0}{RC} (t_x - t_2)$$

$$t_2 - t_1 = \frac{N_a}{f_0}; \quad t_x - t_2 = \frac{N_x}{f_0}$$

$$\bar{u}_x \frac{N_a}{f_0} = U_0 \frac{N_x}{f_0}$$

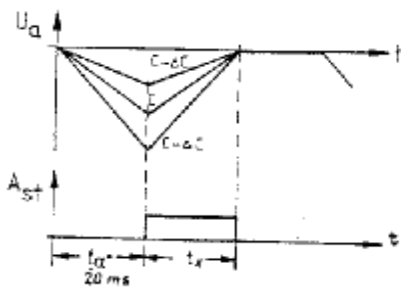
$$N_x = \frac{N_a}{U_0} \bar{u}_x = K \bar{u}_x$$



verschiedene Eingangs-
gleichspannungen U_x :

$$U_{x1} > U_{x2} > U_{x1}$$

$$t_x/t_a \sim U_x$$

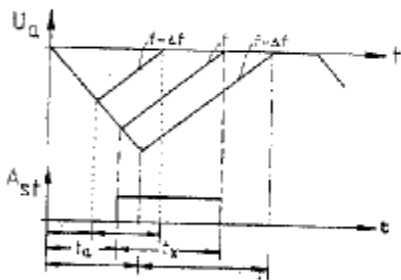


Änderung der Kapazität C des
Integrations-Kondensators:

$$C, C + \Delta C, C - \Delta C$$

($U_x = \text{konstant}$)

$$t_x/t_a \sim U_x$$

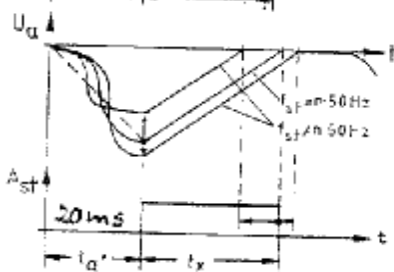


Änderung der Clockfrequenz f:

$$f, f - \Delta f, f + \Delta f$$

($U_x, C = \text{konstant}$)

$$t_x/t_a \sim U_x$$

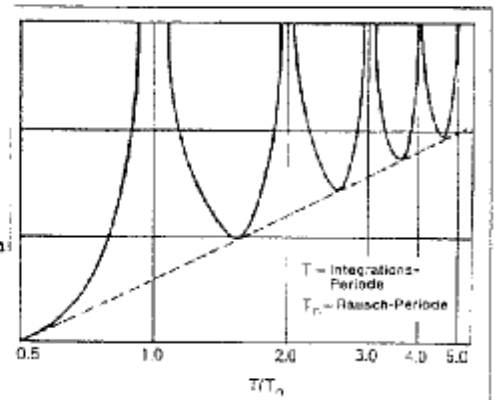


Überlagerung einer sinusförmigen
Störspannung U_{st} :

$$u_x = U_x + \hat{U}_{st} \sin 2\pi f_{st} t$$

($U_x, C, f = \text{konstant}$)

$$t_x/t_a \sim U_x$$



f) Subranging-ADU

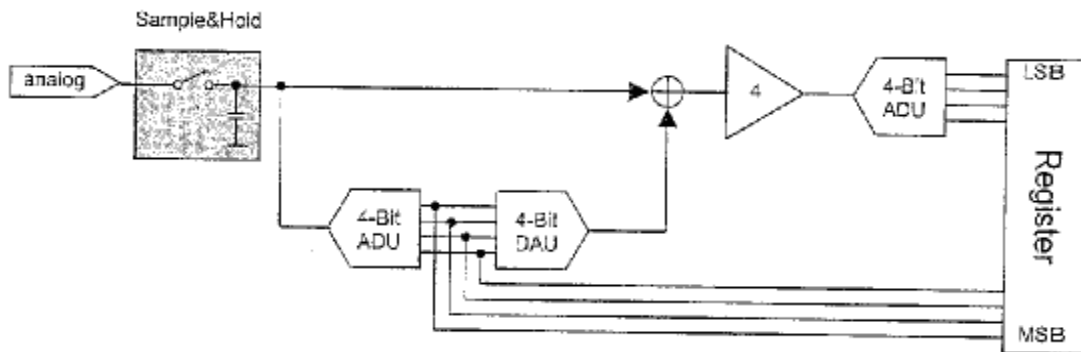
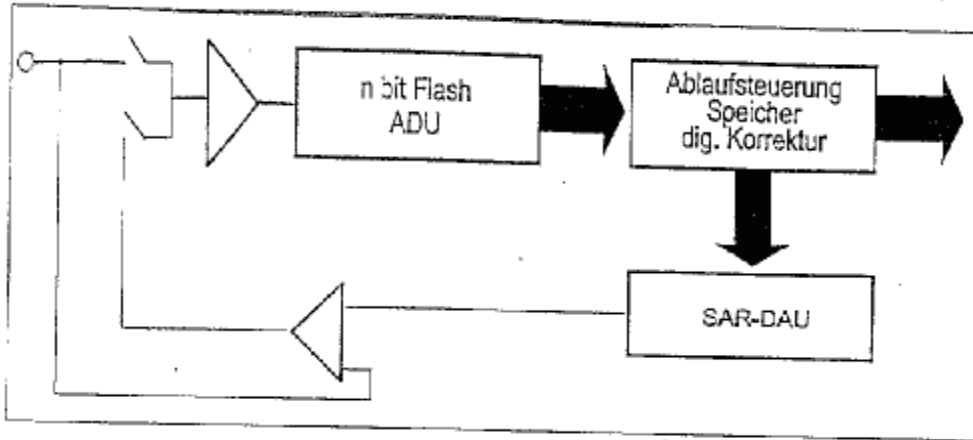


Abbildung 12: Kaskaden-Umsetzer

g) DeltaSigma-ADU

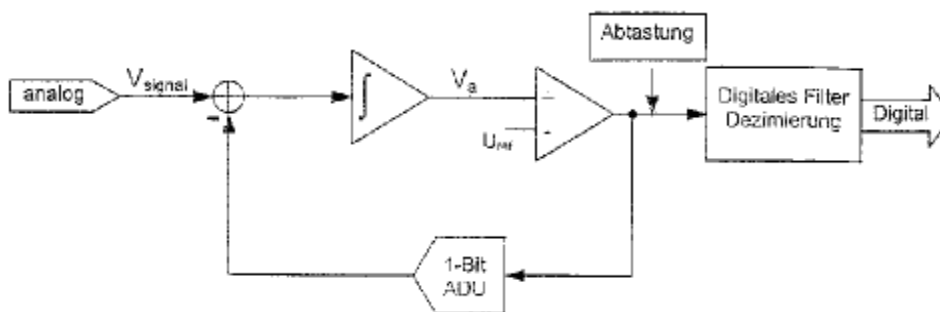
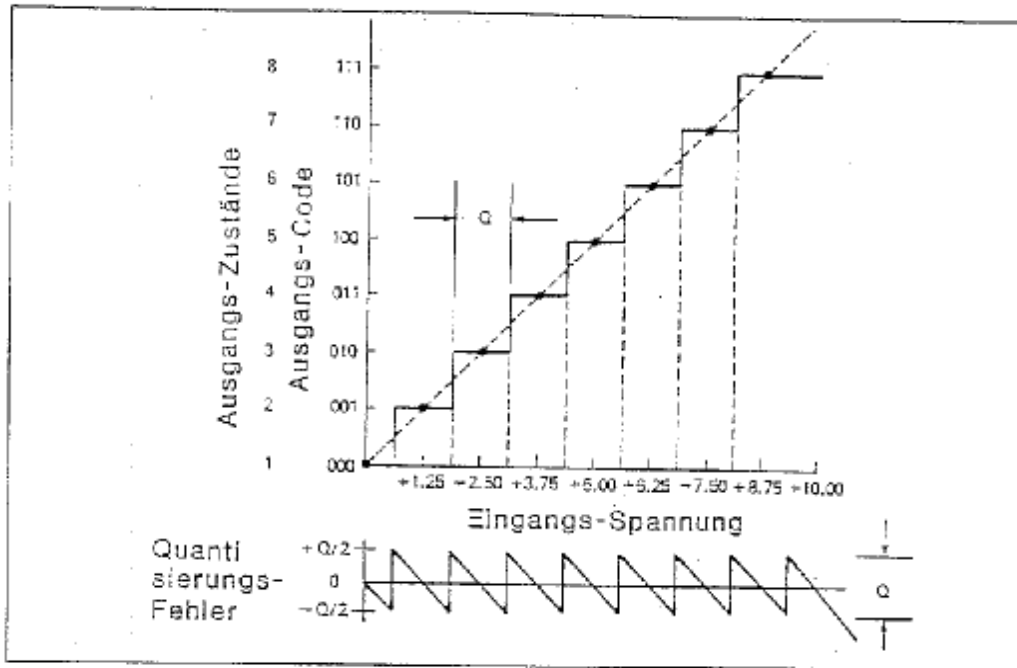


Abbildung 13: Delta-Sigma-Umsetzer erster Ordnung

12.4 Kenngrößen von ADUs

- Kennlinien



- Quantisierungsrauschen, Signal/Rausch-Verhältnis SNR

- Integrale Nichtlinearität

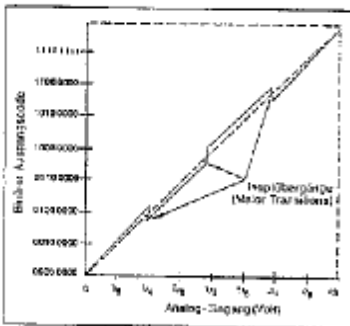


Bild 10 a

- differentielle Nichtlinearität

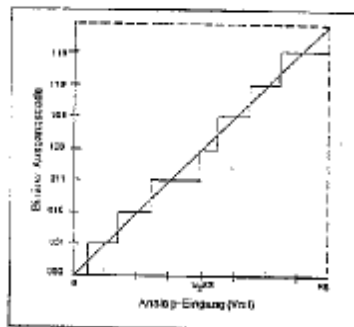
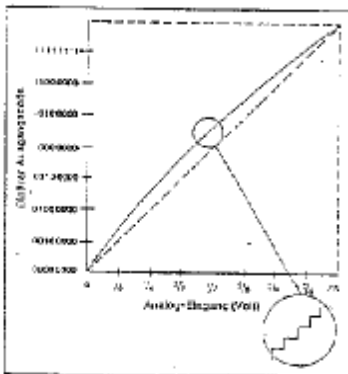
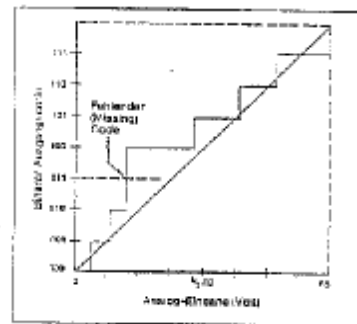


Bild 9 a



Linearitätscharakteristik eines AD-Wandlers in der Technik der schrittweisen Annäherung (a) und der Dual-Slope-Integration (b). Die Übertragungsfunktion des Wandlers in Successive-Approximation zeigt hauptsächlich differentielle Linearitätsfehler, während Integrationswandler mit vorwiegend integralen Linearitätsfehlern versehen sind.



AD-Wandler-Ausgang ohne fehlenden (a) und mit fehlendem Code (b). Ein differentielles Linearitätsfehler von ± 1 LSB stellt sicher, daß die Transferfunktion keinen fehlenden (missing) Code aufweist.

12.5 Kenndaten industrieller DAUs und ADUs

Hersteller	Name	Auflösung	kSps	Umsetz-Dauer	Schnittstelle	Code ¹	Parallel	Pipeline	SAR	Delta-Sigma	Integrierend
Maxim	MAX134	15	0,1	10 ms	parallel	BCD					✓
	ICL7109	12	0,03	33 ms	parallel	SB					✓
Analog	AD7654	16	1000	1 μ s	para./ser.	SB			✓		
	AD7674	18	800	1,25 μ s	para./ser.	SB			✓		
	AD7721	16	470	2,1 μ s	seriell	SB				✓	
	AD1555/6	24	16	62,5 μ s	seriell	BCT				✓	
	AD9260	16	2.500	0,4 μ s	parallel	BCT				✓	
	AD7720	16	125.000	8 ns	seriell	SB				✓	
	AD1170	12	1	1 ms	parallel	SB+BCT					✓
	AD10200	12	105.000	10 ns	parallel	BCT		✓			
	AD9410	10	250.000	4 ns	parallel	SB+BCT	✓				
Texas	TLV5580	8	80.000	12,5 ns	parallel	SB		✓			
	ADS809	12	80.000	12,5 ns	parallel	SB+BCT		✓			
	ADS5422	14	62.000	16 ns	parallel	SB+BCT		✓			
	ADS8383	18	500	2 μ s	Parallel	SB			✓		
	ADS1252	24	41	24 μ s	seriell	BCT				✓	
National	ADC08200	8	200.000	5 ns	parallel	SB	✓				
	ADC12L066	12	66.000	15 ns	parallel	SB		✓			
	ADC16061	16	2.500	0,4 μ s	parallel	BCT		✓			
Microchip	TC3500	10	0,5	2 ms	seriell	BCT				✓	
	TC500	17	0,01	100 ms	seriell	BCT					✓
	MCP3001	10	200	5 μ s	seriell	SB			✓		

Aktuelle Daten einiger AD-Umsetzer

