

9. Verstärkerschaltungen, ADCs und TDCs

9.1 Differenzverstärker

9.2 Operationsverstärker

9.3 Anwendungen von Operationsverstärkern

9.4 Analog-Digital-Wandler (ADC) u. Digital-Analog-Wandler (DAC)

Zusammenfassung:

Differenzverstärker

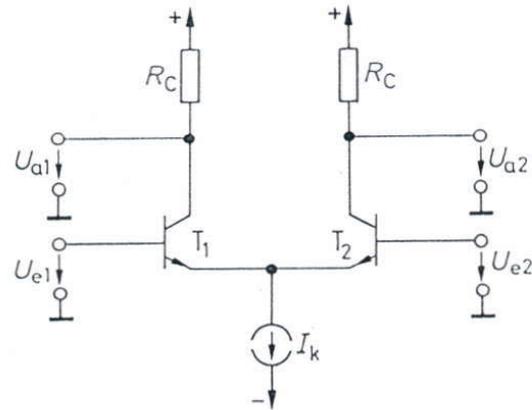


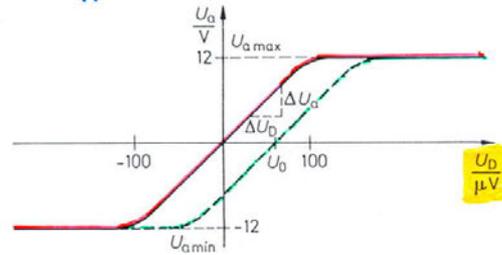
Abb. 4.41 Grundsaltung des Differenzverstärkers

Differenzverstärkung:	$A_D = \frac{dU_{a1}}{dU_D} = -\frac{dU_{a2}}{dU_D} = -\frac{1}{2}S(R_C \parallel r_{CE})$ mit $U_D = U_{e1} - U_{e2}$
Gleichtaktverstärkung:	$A_{G1} = \frac{dU_{a1}}{dU_{G1}} = \frac{dU_{a2}}{dU_{G1}} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{R_C}{r_k}$ mit $U_{G1} = \frac{1}{2}(U_{e1} + U_{e2})$
Gleichtaktunterdrückung:	$G = \frac{A_D}{A_{G1}} \approx S r_k$ (r_k = Innenwiderstand der Stromquelle)
Differenzeingangswiderstand:	$r_D = \frac{dU_D}{dI_{e1}} = -\frac{dU_D}{dI_{e2}} = 2r_{BE}$
Gleichtakteingangswiderstand:	$r_{G1} = \frac{dU_{G1}}{dI_{e1}} = \frac{dU_{G1}}{dI_{e2}} = 2\beta r_k$
Ausgangswiderstand:	$r_a = R_C \parallel r_{CE}$
Eingangsruhestrom:	$I_B = \frac{1}{2}(I_{e1} + I_{e2}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{I_k}{B}$

Parameter	Symbol	Standardverstärker		Spezialverstärker	
		$\mu\text{A 741}$ (bipolar)	TL051 (Fet)	OP 177 (präzise)	EL 2038 (schnell)
Differenzverstärkung	A_D	10^5	$2 \cdot 10^5$	10^7	$2 \cdot 10^4$
Gleichtaktunterdrückung	G	$3 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	10^7	$3 \cdot 10^4$
Differenzeingangswiderstand	r_D	$10^6 \Omega$	$10^{12} \Omega$	$5 \cdot 10^7 \Omega$	$10^4 \Omega$
Gleichtakteingangswiderstand	r_{GI}	$10^9 \Omega$	$10^{14} \Omega$	$2 \cdot 10^{11} \Omega$	$10^7 \Omega$
Eingangsruhestrom	I_B	80 nA	5 pA	1 nA	5 μA
Offsetspannung	U_0	1 mV	0,5 mV	10 μV	0,5 mV
Offsetspannungsdrift	$\Delta U_0 / \Delta \vartheta$	6 $\mu\text{V/K}$	10 $\mu\text{V/K}$	0,1 $\mu\text{V/K}$	20 $\mu\text{V/K}$
Gleichtaktaussteuerbarkeit	$U_{GI \max}$	$\pm 13 \text{ V}$	+14,5 V -12 V	$\pm 13 \text{ V}$	$\pm 12 \text{ V}$
Ausgangssteuerbarkeit	$U_{a \max}$	$\pm 13 \text{ V}$	$\pm 13 \text{ V}$	$\pm 14 \text{ V}$	$\pm 12 \text{ V}$
Maximaler Ausgangsstrom	$I_{a \max}$	$\pm 20 \text{ mA}$	$\pm 20 \text{ mA}$	$\pm 20 \text{ mA}$	$\pm 50 \text{ mA}$
Ausgangswiderstand	r_a	1 k Ω	100 Ω	60 Ω	30 Ω
Betriebsstromaufnahme	I_b	1,7 mA	1,4 mA	1,6 mA	13 mA
3 dB-Bandbreite	f_{gA}	10 Hz	30 Hz	0,06 Hz	50 kHz
Verstärkungsbandbreite-Produkt	f_T	1 MHz	3 MHz	0,6 MHz	1 GHz
Rate	dU_a/dt	0,6 V/ μs	18 V/ μs	0,3 V/ μs	1000 V/μs
Leistungsbandbreite	f_P	10 kHz	290 kHz	5 kHz	16 MHz

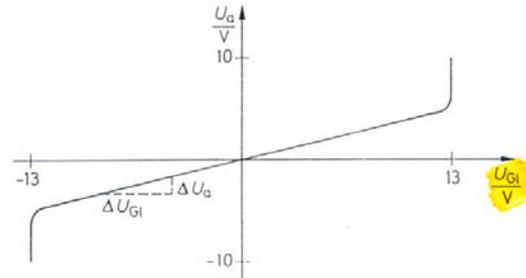
Abb. 7.6 Typische Daten integrierter Operationsverstärker ohne äußere Beschaltung bei $\pm 15 \text{ V}$ Betriebsspannung

Differenzsteuerung

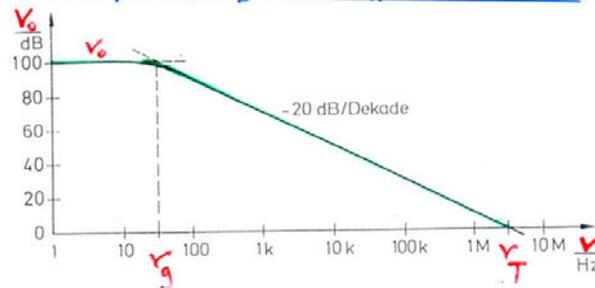


- real, OFFSET

Gleichtaktsteuerung



Frequenzgang der Differenzverstärkung (1 Stufe) (1 Tiefpaß)



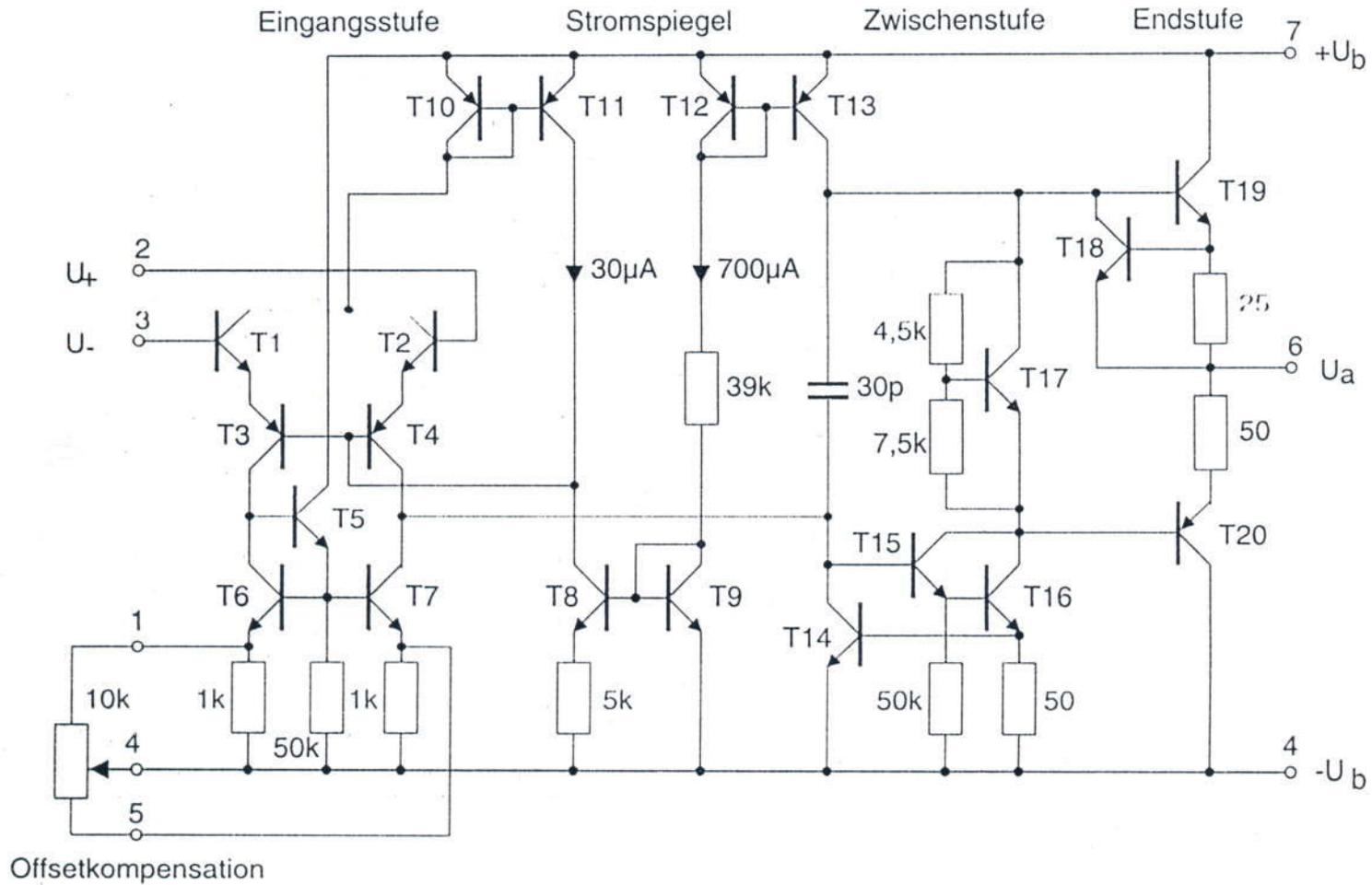
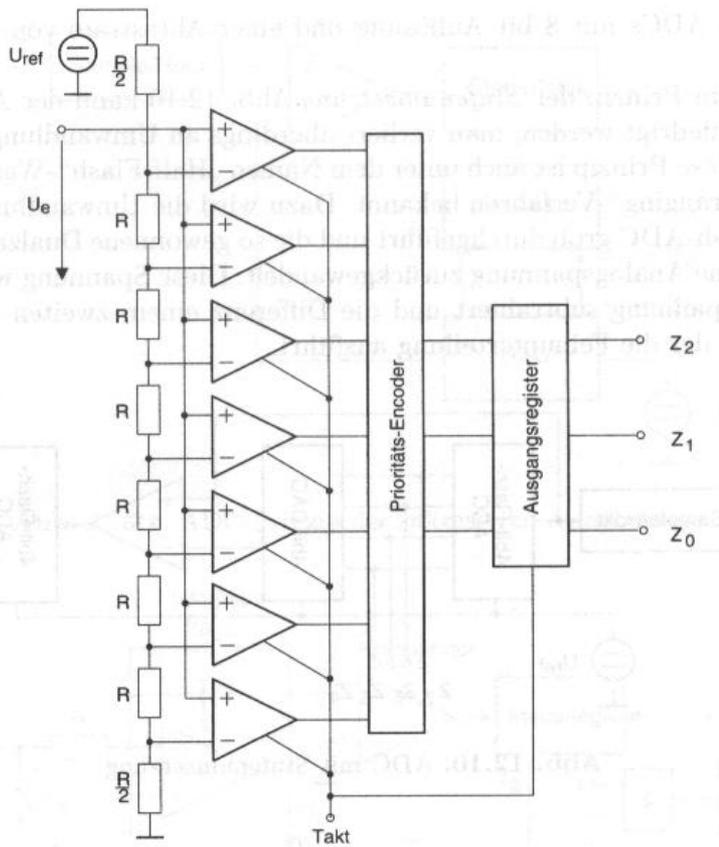
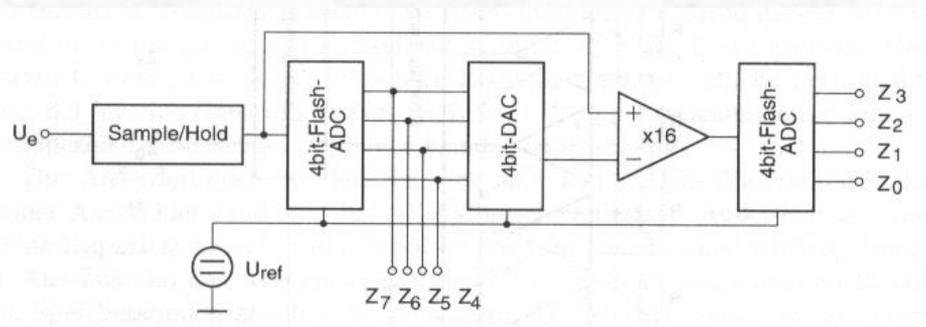


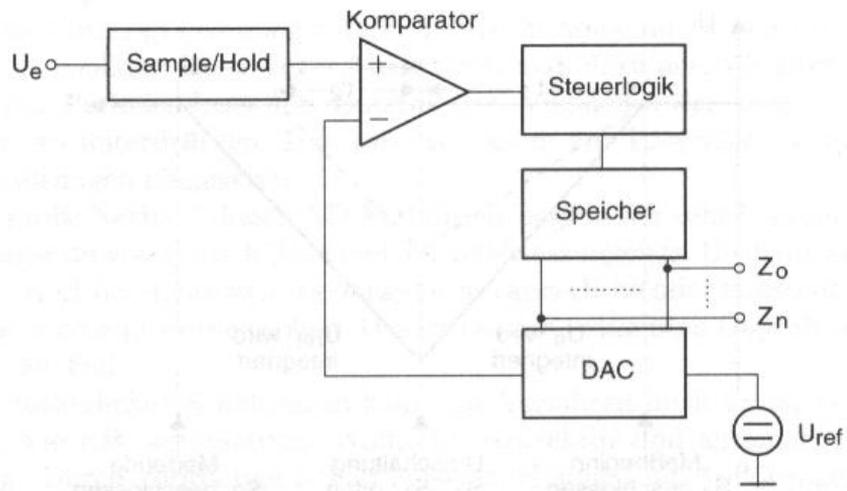
Abb. 14.1. Die interne Schaltung des Operationsverstärkers 741

Prinzip des Flash-ADCs
(aus Ref. [1])

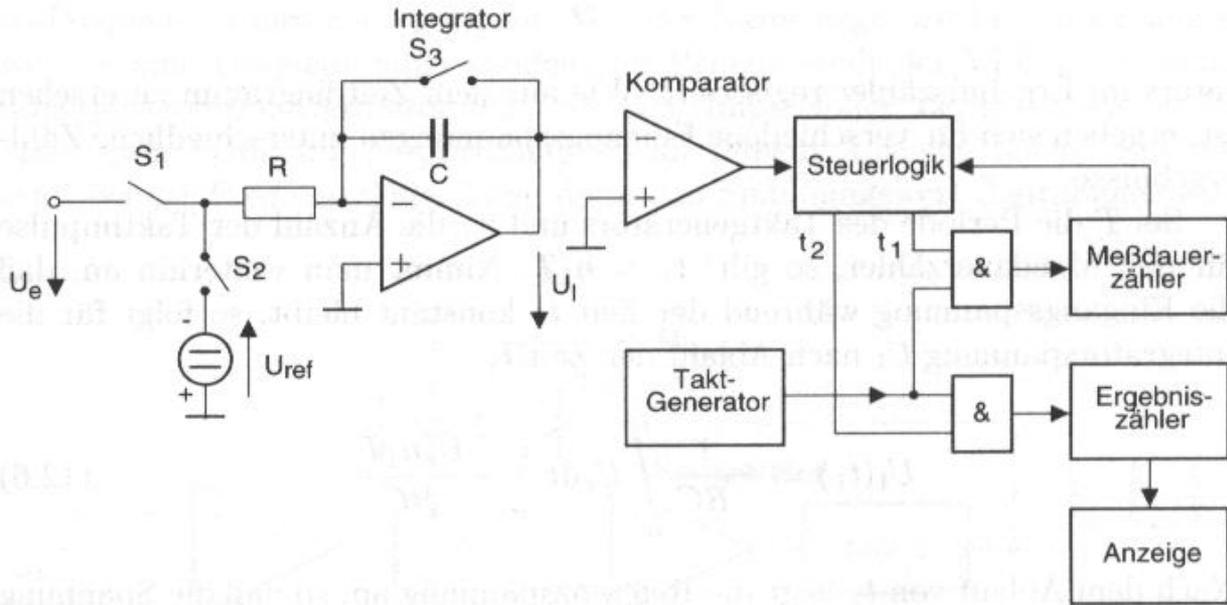


Zwei-Stufen Digitalisierung
(aus Ref. [1])

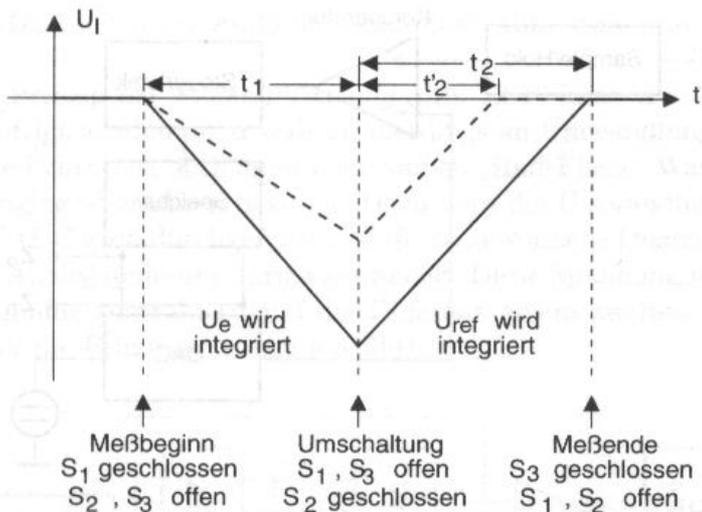




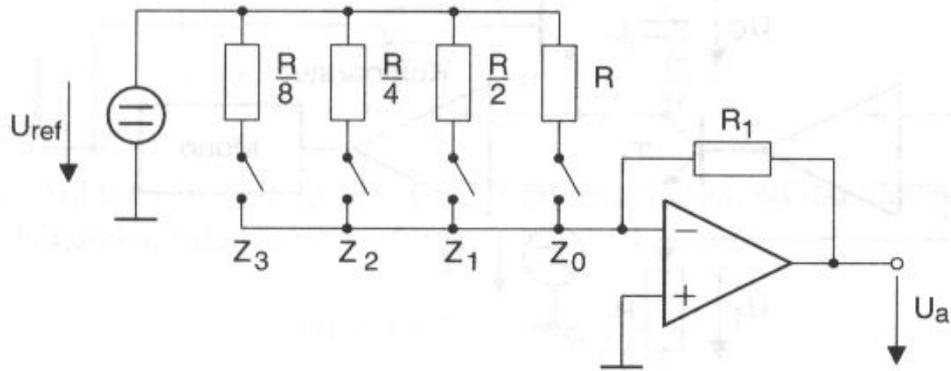
ADC-Prinzip der sukzessiven Annäherung
(aus Ref. [1])



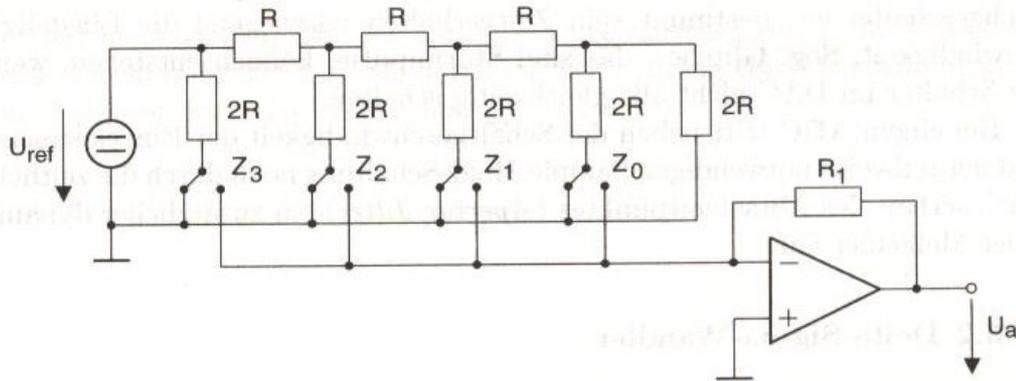
Prinzip des Dual-Slope-Verfahrens
(aus Ref. [1])



Zeitverlauf bei einem Meßzyklus
(aus Ref. [1])



Prinzip eines DACs
(aus Ref. [1])



DAC mit fortgesetzter Spannungsteilung
(aus Ref. [1])