

## 2.4.4 Piezoelektrischer Kraftaufnehmer

Sachworte: Piezoelektrischer Kraftaufnehmer, Kraftmessung, Spannungsverstärker, Ladungsverstärker, Piezo-Einzelement, Piezo-Doppelement

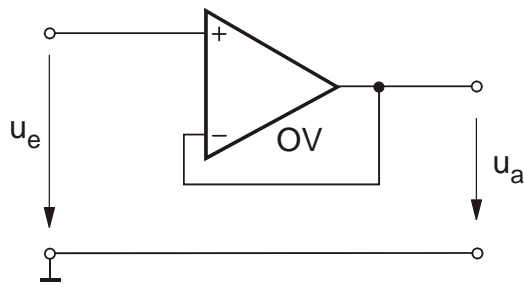


Bild 1 Spannungsverstärker

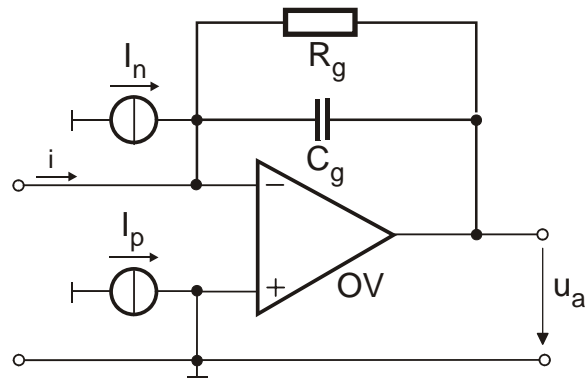


Bild 2 Ladungsverstärker

Eine dynamisch wirkende Kraft  $F$  soll mit einem piezoelektrischen Kraftaufnehmer, der aus einem Einzelement (Kapazität  $C_q$ , Innenwiderstand  $R_q$ , Piezomodul  $k$ ) aufgebaut ist, erfasst werden. Der Sensor wird über ein Koaxialkabel einmal an einen Spannungsverstärker nach Bild 1 und dann an einen Ladungsverstärker nach Bild 2 angeschlossen. Die Eingangsströme des realen Operationsverstärkers werden durch die beiden Stromquellen  $I_n$  und  $I_p$  berücksichtigt.

In der Aufgabe sollen typische Sensoreigenschaften gezeigt und die beiden Verstärkertypen auf ihre Eignung zur Messung von Kräften untersucht werden.

Piezokraftaufnehmer:  $k = 2,3 \cdot 10^{-12} \text{ As/N}$ ;  $R_q = 10^{12} \Omega$ ;  $C_q = 10 \text{ pF}$ ;

Koaxialkabel:  $R_K, C_K$

Ladungsverstärker:  $R_g = 100 \text{ M}\Omega$ ;  $C_g = 1 \mu\text{F}$

Die Kraft ändere sich zur Zeit  $t = 0 \text{ s}$  sprungförmig von  $F = 0 \text{ N}$  auf  $F = F_0 = 10^3 \text{ N}$ .

### Fragen:

- Berechnen und skizzieren Sie die Ausgangsspannung  $u_q$  des Sensors ohne nachgeschalteten Verstärker.
- Diskutieren Sie die Eigenschaften der beiden Verstärker zur Verstärkung des Sensorsignals. Welche Funktion hat der Widerstand  $R_g$  in Bild 2?
- Berechnen und skizzieren Sie für beide Messverstärker den Verlauf ihrer Ausgangsspannung  $u_a(t)$  bei  $I_n = 0 \text{ mA}$ .

- d) Wie wirkt sich bei beiden Verstärkern ein Koaxialkabel, das sich ersatzweise durch einen Parallelwiderstand  $R_K$  und eine Parallelkapazität  $C_K$  darstellen lässt, auf die Ausgangsspannung aus?
- e) Wie wirkt sich der Eingangsstrom  $I_n$  des OV auf die Ausgangsspannung des Ladungsverstärkers aus?
- f) Typische industriell ausgeführte Piezosensoren enthalten zwei Einzelelemente. Skizzieren und erläutern (Vorteil, Nachteil) Sie einen solchen Aufbau.
- g) Ermitteln Sie die Parameter  $R_{q2}$ ,  $C_{q2}$  und  $k_2$  sowie die Zeitkonstante  $\tau_{q2}$  eines solchen Doppелеlementes abhängig von den Parametern  $R_q$ ,  $C_q$  und  $k$  eines Einzelelementes.
- h) Berechnen Sie die Ausgangsspannung  $u_{q2}$  des Doppelsensors ohne nachgeschalteten Verstärker bei einem Kraftsprung von  $F = 0 \text{ N}$  auf  $F = F_0$ .
- i) Berechnen Sie für einen Doppelsensor den Verlauf der Ausgangsspannungen  $u_a(t)$  beider Messverstärker bei einem Kraftsprung von  $F = 0 \text{ N}$  auf  $F = F_0$ .

8