

# Operationsverstärker A 109, B 109

Integrierte bipolare hochverstärkende Operationsverstärker im DIL-Keramik- bzw. -Plastgehäuse mit kleinen Offsetgrößen, großem Eingangswiderstand und großer Ausgangsamplitude für universellen Einsatz

Abmessungen in mm und Anschlußbelegung (s. Bild 1)

Gehäuse DIL-Keramik- bzw. -Plastgehäuse  
 Masse 1 g  
 Bauform K 21 nach TGL 26 713  
 Typstandard TGL 28 873  
 Meßverfahren TGL 31 487/01...18

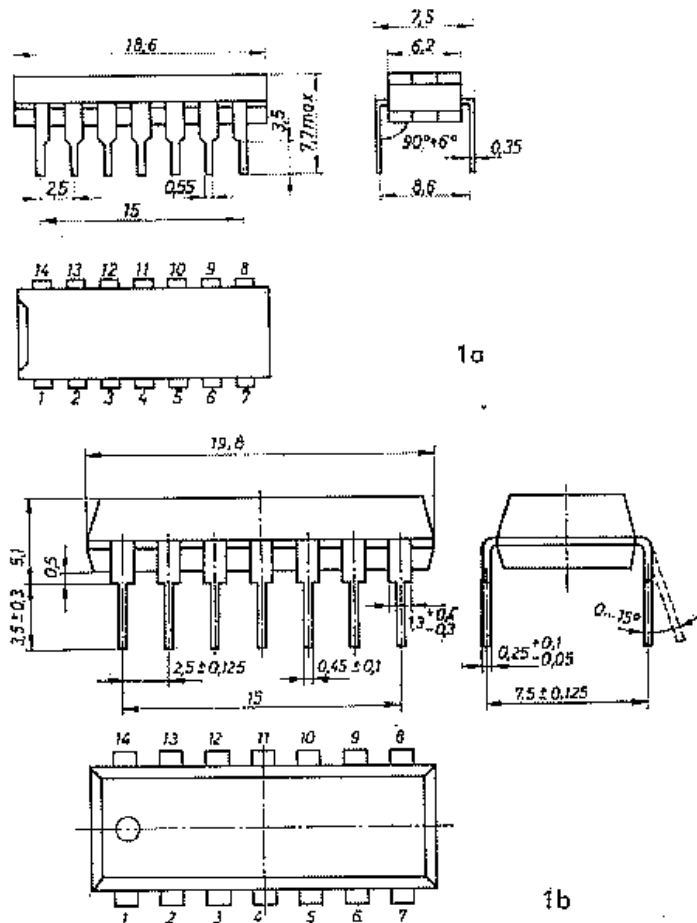


Bild 1: Abmessungen und Anschlußbelegung a) für A 109 C und B 109 C; b) für A 109 D und B 109 D

- 3 - Eingangsfrequenzkompensation
- 4 - invertierender Eingang
- 5 - nichtinvertierender Eingang
- 6 - negative Betriebsspannung
- 7, 8, 13, 14 - nicht belegt
- 9 - Ausgangsfrequenzkompensation
- 10 - Ausgang
- 11 - positive Betriebsspannung
- 12 - Eingangsfrequenzkompensation

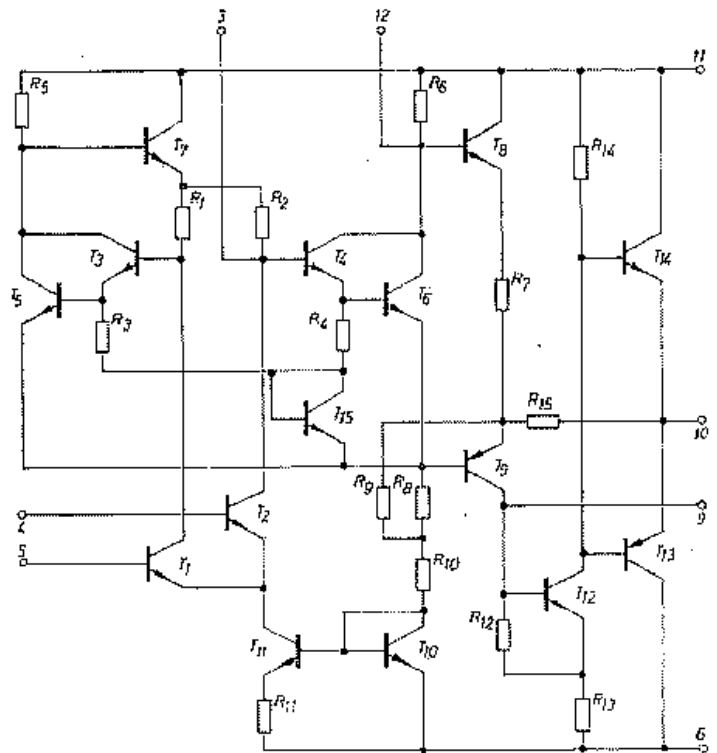


Bild 2: Innere Schaltung

## Grenzwerte, gültig für den Betriebstemperaturbereich

|   | min | max  |    |
|---|-----|------|----|
| Betriebsspannung $U_{S+}$   |     | +18  | V  |
| $U_{S-}$  | -18 |      | V  |
| Gleichtaktengangsspannung $U_I$   | -10 | +10  | V  |
| Differenzeingangsspannung $U_{ID}$  | -5  | +5   | V  |
| Gesamtverlustleistung $P_{Tot}$ bei $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$ <sup>1)</sup>          |     | 300  | mW |
| Dauer des Kurzschlußausgangstromes $I_K$ bei $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$ <sup>1)</sup> |     | 5    | s  |
| Betriebstemperaturbereich $\vartheta_a$   |     |      |    |
| A 109   | 0   | +70  | °C |
| B 109   | -25 | +85  | °C |
| Lagerungstemperaturbereich $\vartheta_{Kitt}$ <sup>2)</sup>                                 |     |      |    |
| A 109 C, B 109 C  | -55 | +150 | °C |
| A 109 D, B 109 D  | -40 | +125 | °C |

<sup>1)</sup> gilt nur für A 109 C, B 109 C

<sup>2)</sup> gilt nur für Temperaturwechselprüfung nach TGL 28 505, Prüfgruppe B2.

## Statische Kennwerte ( $U_{S+} = -U_{S-} = 15\text{ V}$ , $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$ )

| Eingangsoffsetspannung $U_{ID}$                                  |       | min | typ  | max    |
|--|-------|-----|------|--------|
| $R_S = 100\ \Omega$  | A 109 |     | 0,52 | 7,5 mV |
|  | B 109 |     | 0,4  | 5 mV   |
| $R_S = 100\ \Omega$ , $\vartheta_a = 0 \dots 70^\circ\text{C}$   | A 109 |     |      | 10 mV  |
|  | B 109 |     |      | 10 mV  |
| $R_S = 100\ \Omega$ , $\vartheta_a = -25 \dots 85^\circ\text{C}$ | A 109 |     |      | 10 mV  |
|  | B 109 |     |      | 10 mV  |

## Temperaturkoeffizient der Eingangsoffsetspannung $\frac{\Delta U_{ID}}{\Delta \vartheta}$

| $R_S = 100\ \Omega$              |       | $\vartheta_{n1} = 0^\circ\text{C}$ , $\vartheta_{n2} = 70^\circ\text{C}$ | $\vartheta_{n1} = -25^\circ\text{C}$ , $\vartheta_{n2} = 85^\circ\text{C}$ |                    |
|----------------------------------|-------|--|--|--------------------|
| $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$ | A 109 | 1,9  |  | $\mu\text{V/grad}$ |
|                                  | B 109 | 1,85   | 25   | $\mu\text{V/grad}$ |

## Eingangsoffsetstrom $I_{IO}$

| $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$            |       |    |        |
|---|-------|----|--------|
| $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$            | A 109 | 38 | 500 nA |
|   | B 109 | 32 | 200 nA |
| $\vartheta_a = 0 \dots -70^\circ\text{C}$   | A 109 |    | 750 nA |
|   | B 109 |    | 750 nA |
| $\vartheta_a = -25 \dots +85^\circ\text{C}$ | A 109 |    | 750 nA |
|   | B 109 |    | 750 nA |

| Eingangsbiasstrom $I_S$                                |           | min  | typ   | max             |
|--|-----------|------|-------|-----------------|
| $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$                       | A 109     | 330  | 1500  | nA              |
|  | B 109     | 280  | 500   | nA              |
| $\vartheta_a = 0 \dots +70^\circ\text{C}$              | A 109     |      | 2000  | nA              |
| $\vartheta_a = -25 \dots +85^\circ\text{C}$            | B 109     |      | 2000  | nA              |
| <b>Betriebsspannungsunterdrückung SVR</b>              |           |      |       |                 |
| $R_S = 100 \Omega, \Delta U_{S+} = 1 \text{ V}$        | A 109     | 43,5 | 200   | $\mu\text{V/V}$ |
|  | B 109     | 40,5 | 150   | $\mu\text{V/V}$ |
| $R_S = 100 \Omega, \Delta U_{S-} = -1 \text{ V}$       | A 109     | 14,7 | 200   | $\mu\text{V/V}$ |
|  | B 109     | 13,5 | 150   | $\mu\text{V/V}$ |
| <b>Ausgangsspitzenspannung</b>                         |           |      |       |                 |
| $R_L = 2 \text{ k}\Omega$                              | $U_{a+}$  | 10   | 13,2  | V               |
|  | $-U_{a-}$ | 10   | 13,4  | V               |
| $R_L = 10 \text{ k}\Omega$                             | $U_{a+}$  | 12   | 14,0  | V               |
|  | $-U_{a-}$ | 12   | 13,9  | V               |
| <b>Gleichtakteingangsspannung <math>\pm U_1</math></b> |           |      |       |                 |
| 3 V  |           |      |       |                 |
| <b>Gleichtaktunterdrückung CMR</b>                     |           |      |       |                 |
| $R_S = 100 \Omega$                                     | A 109     | 65   | 105   | dB              |
|  | B 109     | 70   | 108,5 | dB              |
| $R_S = 10 \Omega$                                      | A 109     |      | 104,1 | dB              |
|  | B 109     |      | 106,8 | dB              |
| <b>Großsignalverstärkung <math>V_U</math></b>          |           |      |       |                 |
| $U_0 = \pm 10 \text{ V}, R_L = 2 \text{ k}\Omega$      | A 109     | 15   | 31,1  | $\cdot 10^3$    |
|  | B 109     | 25   | 34,2  | $\cdot 10^3$    |
| $U_0 = \pm 10 \text{ V}, R_L = 2 \text{ k}\Omega$      |           |      |       |                 |
| $\vartheta_a = 0 \dots +70^\circ\text{C}$              | A 109     | 12   |       | $\cdot 10^3$    |
| $\vartheta_a = -25 \dots +85^\circ\text{C}$            | B 109     | 12   |       | $\cdot 10^3$    |
| <b>Eingangswiderstand <math>R_i</math></b>             |           |      |       |                 |
|  | A 109     | 50   | 270   | k $\Omega$      |
|  | B 109     | 150  | 270   | k $\Omega$      |
| <b>Eigenleistungsaufnahme <math>P_V</math></b>         |           |      |       |                 |
|  | A 109     | 72   | 200   | mW              |
|  | B 109     | 71,1 | 165   | mW              |

**Dynamische Kennwerte** ( $U_{S+} = -U_{S-} = 15 \text{ V}$ ,  
 $\vartheta_a = 25^\circ\text{C}$ )

Anstiegszeit  $t_r$

$$R_L = 2 \text{ k}\Omega, C_L = 0$$

A 109 0,68  $\mu\text{s}$

B 109 0,74  $\mu\text{s}$

Überschwingen  $\frac{\Delta U_e}{U_0}$

$$U_1 = 20 \text{ mV}, C_L = 100 \text{ pF}$$

3 %

### Allgemeine Applikationshinweise

● Es ist zweckmäßig, die positive und die negative Versorgungsspannung  $U_{S+}$  und  $U_{S-}$  mit je einem Kondensator von  $0,01 \dots 0,1 \mu\text{F}$  gegen 0 V abzublenden.

● Um eine eventuelle Schwingneigung in der positiven Halbwelle der Ausgangsspannung zu vermeiden, ist das Einschalten eines Widerstandes von  $51 \Omega$  in den Ausgang erforderlich.

● Es ist zu beachten, daß der Schaltkreis auch beim Betrieb in offener Schleife bereits frequenzkompensiert werden muß. Dazu sind zwei Kondensatoren mit den Werten  $C_{k1} = 10 \text{ pF}$  und  $C_{k2} = 3 \text{ pF}$  erforderlich.

● Beim Betrieb in geschlossener Schleife richten sich die Werte für die Frequenzkompensationsglieder nach der geschlossenen Schleifenverstärkung  $|V_G|$ :

| $ V_G $<br>in dB | $C_{k1}$<br>in pF | $R_{k1}$<br>in k $\Omega$ | $C_{k2}$<br>in pF |
|------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|
| 60               | 10                | 0                         | 3                 |
| 50               | 27                | 1,5                       | 3                 |
| 40               | 100               | 1,5                       | 3                 |
| 30               | 270               | 1,5                       | 10                |
| 20               | 470               | 1,5                       | 20                |
| 10               | 2700              | 1,5                       | 100               |
| 0                | 4700              | 1,5                       | 200               |

Fortsetzung auf Seite 801

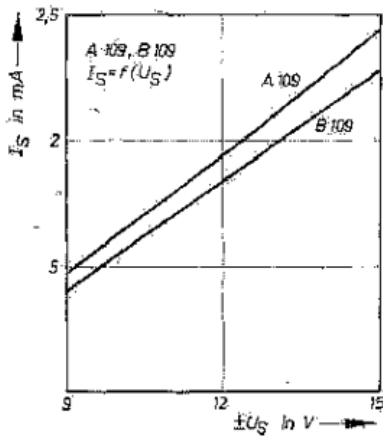


Bild 3

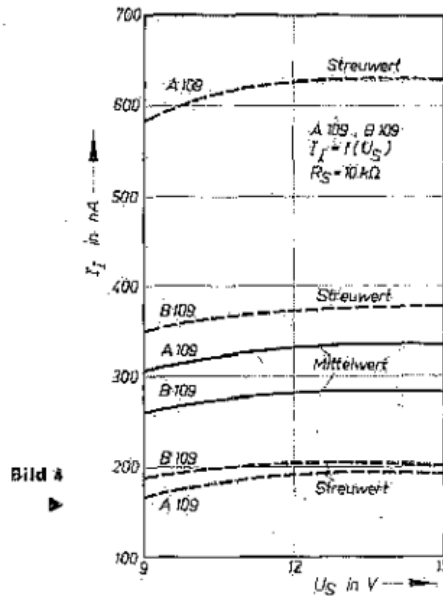


Bild 4

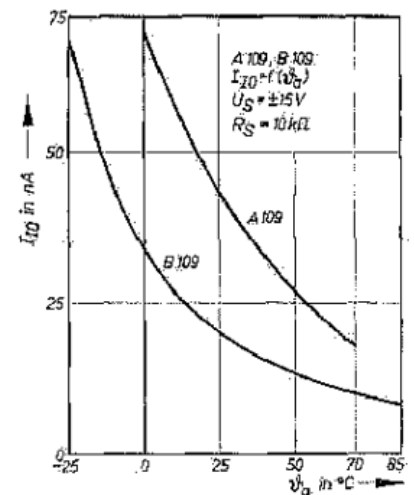


Bild 5

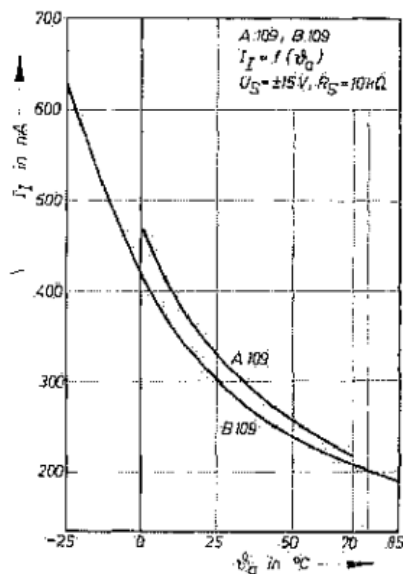


Bild 6

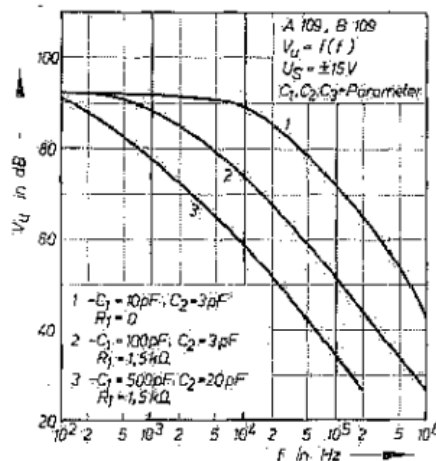


Bild 7

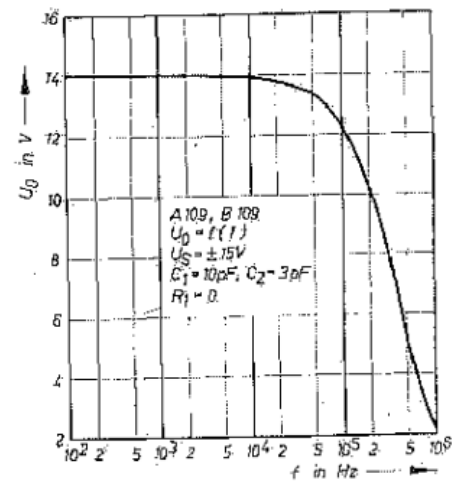


Bild 8

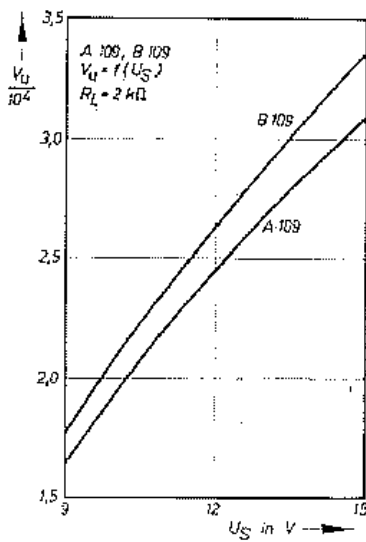


Bild 9

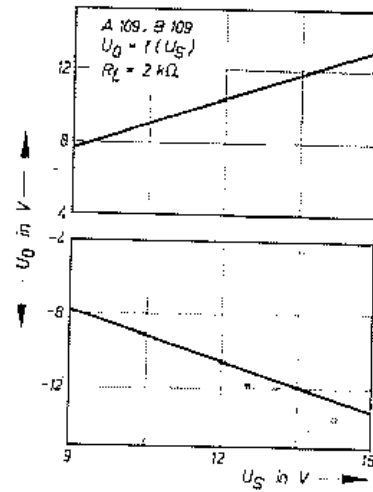


Bild 10

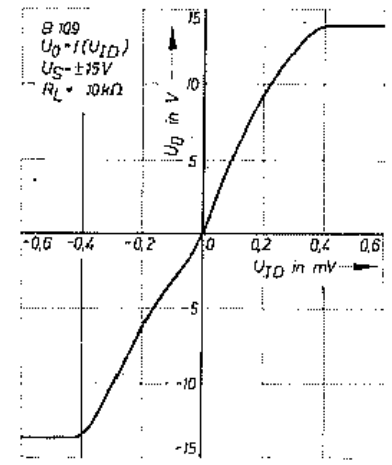


Bild 11

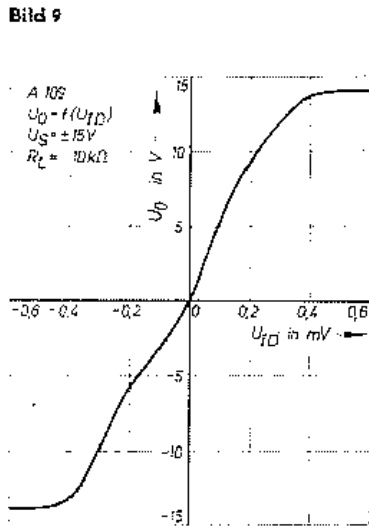


Bild 12

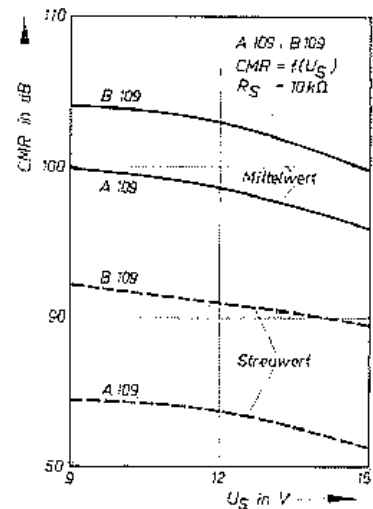


Bild 13

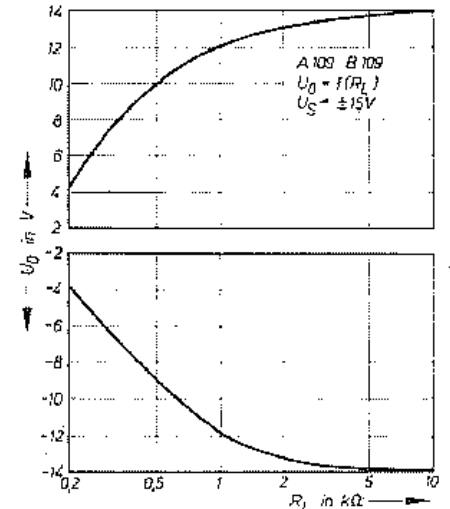


Bild 14

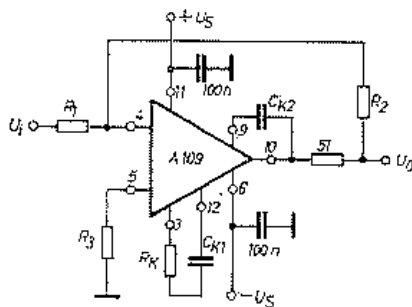


Bild 15: Frequenzkompensation des A 109, B 109 und Beschaltung als invertierender Verstärker

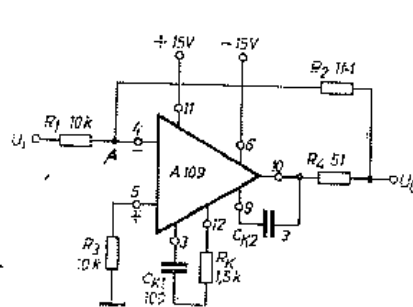


Bild 16: Invertierender Verstärker

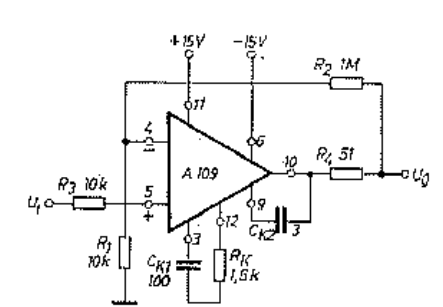


Bild 17: Nichtinvertierender Verstärker

Fortsetzung von Seite 796

### Frequenzkompensation des A 109, B 109 und Beschaltung als invertierender Verstärker (Bild 15)

- Für Verstärkungen  $|V_{cl}| > 30 \text{ dB}$  ist eine Offsetkompensation vorzusehen, um die Ausgangsruhespannung auf 0 V bei 0 V Eingangsspannung einstellen zu können.
- Zur Erzielung einer minimalen Temperaturdrift müssen die von den Anschlüssen des invertierenden bzw. des nichtinvertierenden Eingangs in die Schaltung hineingemessenen Wirkwiderstände gleich groß sein.
- Daraus resultiert die Bedingung  $R_3 = R_1 || R_2$ .
- Beim Betrieb als Spannungsfolger kommt der Einhaltung des maximalen Gleichspannungsbereichs eine besondere Bedeutung zu. Der maximale Gleichspannungsbereich darf auch nicht kurzzeitig überschritten werden, da es sonst zum „Latch up“ (Festfahren oder Hängenbleiben der Ausgangsspannung) kommen kann. Es ist deshalb beim Betrieb des A 109 bzw. B 109 als Spannungsfolger in die Rückführung vom Ausgang auf den invertierenden Eingang ein Widerstand von 10 kΩ einzuschalten.

- Sofern in der angewandten Schaltung die Möglichkeit besteht, daß die Spannungsdifferenz direkt zwischen dem invertierenden und nichtinvertierenden Eingang größer als 5 V werden kann, ist ein besonderer Schutz für die Eingänge vorzusehen. Dieser Schutz kann entweder aus zwei in Reihe liegenden, gegensinnig geschalteten Z-Dioden oder mit Hilfe zweier antiparallel geschalteter schneller Si-Dioden erfolgen.
- Soll der A 109 bzw. B 109 eine Logik ansteuern, so ist zwischen dem Ausgang des Schaltkreises und dem Eingang der logischen Schaltung eine Logikpegelangleichung vorzunehmen. Zur Ansteuerung eines TTL-Gattereingangs genügt dazu die Einschaltung eines Widerstandes von 2 kΩ zwischen dem Ausgang des A 109 bzw. B 109 und dem Gattereingang sowie die Anschaltung zweier Klemmdioden an den gatterseitigen Anschluß des Widerstandes; eine Diode von 0 V (Anode) zum Widerstand, die andere Diode vom Widerstand (Anode) zu einer positiven Hilfsspannung von 2,8 V.
- Bei Brettchaltungsaufbauten mit dem A 109 bzw. B 109 kann zum Schutz gegen unbeabsichtigte Verpolung der Betriebsspannungen vor die Anschlüsse  $U_{S+}$  und  $U_{S-}$  je eine Diode geschaltet werden, die bei versehentlich falscher Polung sperren und die Zerstörung des Schaltkreises verhindern.

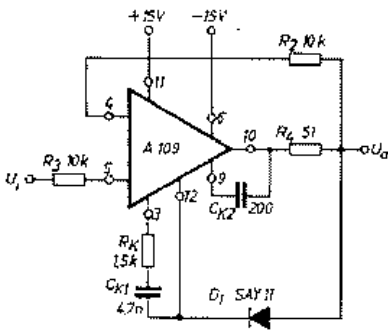


Bild 18: Spannungsfolger

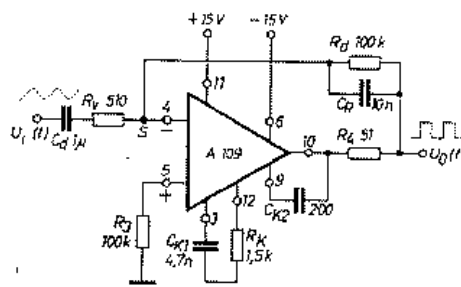


Bild 19: Differentiator

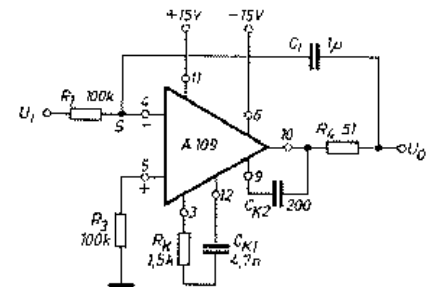


Bild 20: Integrator

## Anwendungsbeispiele

### 1. Invertierender Verstärker (Bild 16)

Unter der erfüllten Voraussetzung sehr hoher offener Schleifenverstärkung und vernachlässigbaren Eingangsstroms des Operationsverstärkers befinden sich die beiden Eingänge des Verstärkers stets auf gleichem Potential, und Punkt A kann als virtuelle Masse betrachtet werden. Damit wird die Spannungsverstärkung der geschlossenen Schleife

$$V_g = \frac{U_o}{U_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -100$$

Der Eingangswiderstand der Schaltung ist näherungsweise

$$R_i \approx R_1$$

$R_K$ ,  $C_{K1}$  und  $C_{K2}$  dienen der Frequenzkompensation. Mit  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$  wird minimale Temperaturdrift erreicht.

### 2. Nichtinvertierender Verstärker (Bild 17)

Die Verstärkung wird unter der Voraussetzung sehr hoher offener Schleifenverstärkung und vernachlässigbaren Eingangsstroms des Operationsverstärkers

$$V_g = \frac{U_o}{U_i} = \frac{R_2 + R_1}{R_1} = 101$$

Der Eingangswiderstand ist näherungsweise

$$R_i = \frac{V_o R_{iv}}{1 + \frac{R_2}{R_1}}$$

$V_o$  ist die offene Schleifenverstärkung,  $R_{iv}$  der Eingangswiderstand des A 109 zwischen den Anschlüssen 4 und 5. Der Eingangswiderstand des nichtinvertierenden Verstärkers ist damit wesentlich höher als der des invertierenden Verstärkers.

### 3. Spannungsfolger (Bild 18)

Infolge seines großen zulässigen Gleichakteingangsspannungsbereiches eignet sich der A 109 als Spannungsfolger. Dabei ist zu beachten, daß die Grenzen der Gleichakteingangsspannung nicht überschritten werden dürfen.

Grundsätzlich ist bei Spannungsfolgern die Möglichkeit des „Hängenbleibens“ (Latch up) zu berücksichtigen, die dadurch zustande kommt, daß der Eingangstransistor des invertierenden Eingangs in die Sättigung kommt und somit die Invertierung verloren geht. Die Gegenkopplung über  $R_2$  wird in diesem Fall zur positiven Rückkopplung, und der Schaltkreis fährt sich fest, sofern die Ausgangsspannung die Sättigung des Eingangs aufrechterhalten kann. Die Diode  $D_1$  begrenzt die Ausgangsspannung auf einen Wert, der die Sättigung des Eingangstransistors nicht zuläßt, und verhindert das Hängenbleiben der Schaltung.

### 4. Differentiator (Bild 19)

Der Strom im Summierpunkt S ist bestimmt durch

$$i_c = C_d \frac{d[U_i(t)]}{dt}$$

Unter Vernachlässigung des Eingangsstroms des Schaltkreises wird die Ausgangsspannung

$$U_o(t) = i_c R_d = -R_d C_d \frac{d[U_i(t)]}{dt} = -\tau_d p U_i(t)$$

Der Differentiator muß sehr sorgfältig frequenzkompensiert werden. Der Kondensator  $C_d$  ist für ausreichende Frequenzstabilität zusätzlich erforderlich.  $R_v$  begrenzt den maximalen Eingangsstrom.

Die Schaltung wirkt nur im unteren Frequenzbereich ( $f < 20 \text{ Hz}$ ) als Differentiator; für Frequenzen  $f > 2 \text{ kHz}$  arbeitet sie bereits als Integrator. Dazwischen liegt ein etwa proportionaler Bereich. Die Verstärkungsabnahme bei hohen Frequenzen wirkt stark vermindern auf die Ausgangsrauschspannung. Die Differentiationszeitkonstante  $R_d C_d$  ist so gewählt, daß die zu erwartende maximale Änderungsgeschwindigkeit des Eingangssignals die volle Aussteuerung des Ausgangs innerhalb des zulässigen Ausgangsspannungsbereiches ergibt.

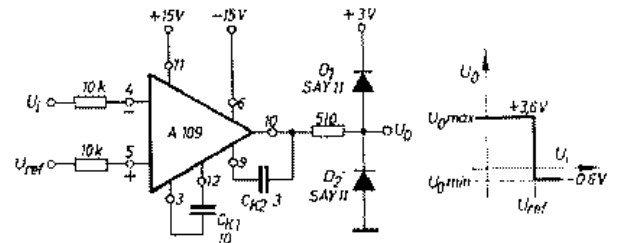


Bild 21: Komparator

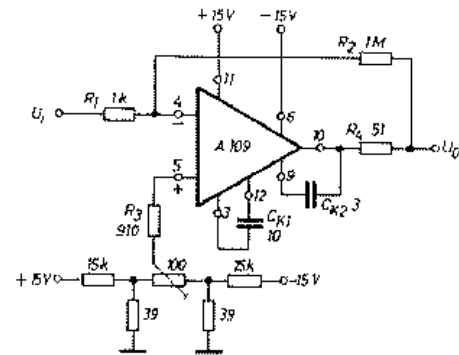


Bild 22: Offsetkompensation

### 5. Integrator (Bild 20)

Bei vernachlässigbarem Eingangsstrom des A 109 muß der Strom, der über den Widerstand  $R_1$  in den Summenpunkt S hineinfließt, über den Integrationskondensator  $C_i$  wieder abfließen. Deshalb gilt

$$\frac{U_i(t)}{R_1} = -C_i \frac{d[U_o(t)]}{dt}$$

und

$$U_o(t) = -\frac{1}{R_1 C_i} \int U_i(t) dt$$

mit  $\tau_i = C_i R_1$  als Integrationszeitkonstante. Im angegebenen Beispiel ist  $\tau_i = 0,1 \text{ s}$ .

Die gezeigte Prinzipschaltung des Integrators muß in einer geschlossenen Schleife zusammen mit einer Vorrichtung zum Halten und Setzen verwendet werden, weil sonst innerhalb einer gewissen Zeit die Ausgangsspannung einen ihrer möglichen Endwerte erreichen würde.

### 6. Komparator (Bild 21)

Diese Schaltung vergleicht die Eingangsspannung  $U_i$  mit der Bezugsspannung  $U_{ref}$ . Die Ansprechempfindlichkeit beträgt etwa  $1 \text{ mV}$ . Liegt die Eingangsspannung  $1 \text{ mV}$  über der Bezugsspannung, beträgt die Ausgangsspannung  $U_o = +14 \text{ V}$ , im umgekehrten Fall etwa  $-14 \text{ V}$ .

Die Schnelligkeit des Spannungsvergleiches hängt von der Übersteuerung ab und beträgt für  $10 \text{ mV}$  Übersteuerung etwa  $5 \mu\text{s}$ . Eine Angleichung des Ausgangspegels an die Logikpegel ist z. B. mit zwei Dioden  $D_1$ ,  $D_2$  möglich.

### Offsetkompensation (Bild 22)

Infolge geringer Unsymmetrien innerhalb des Operationsverstärkers sowie auf Grund der geringfügig unterschiedlichen Spannungsabfälle, die die Eingangsströme des Verstärkers an den vor die beiden Eingänge geschalteten Widerständen hervorrufen, ist die Ausgangsspannung nicht Null, wenn die Eingangsspannung zu Null gemacht wird. Diese Tatsache kann sehr störend wirken, besonders bei hohen Verstärkungen. Deshalb sind Maßnahmen zur Offsetkompensation erforderlich, die z. B. durch Gegenschaltung einer kleinen Kompensationsspannung realisiert werden können.