
Elektrometerverstärker
Electrometer Amplifier

Der Elektrometerverstärker (Verstärkungsfaktor 1) ist ein Impedanzwandler mit extrem hochohmigem Spannungseingang ($\geq 10^{13} \Omega$) und niederohmigem Spannungsausgang ($\leq 1 \Omega$).

Das Gerät dient mit angeschlossenem Spannungsmesser (Zeigerinstrument, Schreiber):

- 1.1 zur nahezu statischen Spannungsmessung bis 10 V–.
- 1.2 zur hochohmigen Messung von Spannungen über 10 V mit ohmschem Spannungsteiler aus STE-Widerständen.
- 1.3 zur nahezu statischen Messung von Spannungen über 10 V– mit kapazitivem Spannungsteiler aus STE-Kondensatoren.
2. mit STE-Widerständen von 1 M Ω bis 10 G Ω als Shunts zur Messung sehr kleiner Ströme (1 V am Ausgang $\approx 10^{-6}$ A bis 10^{-10} A).
3. mit STE-Kondensatoren von 10³ nF bis 1 nF als Ladungsmesser (1 V am Ausgang $\approx 10^{-6}$ As bis 10^{-9} As).

Versuchsbeispiele:

- Ladungs- und Spannungsmessung in der Elektrostatik
- Ladungs- und Spannungsmessung am Plattenkondensator (544 22 oder 23); ϵ_0 -Bestimmung
- Spannungsmessung in flüssigen Leitern: elektrochemische Untersuchungen mit einer Einstabmeßkette; Aufnahme von Äquipotentiallinien in einem elektrolytischen Trog (545 09).
- Ionisation der Luft durch Flammgase oder α -Strahlung
- Äußerer Lichtelektrischer Effekt (Hallwachs-Effekt).
- h -Bestimmung mit der Fozelle (558 77)
- Franck-Hertz-Versuch

Literatur:

Buch "Elektrostatik 2: Ladungen und Felder" (589 171)
Schülerversuche mit Lehrerinformationen

1 Sicherheitshinweise

- Das Gerät ist für den Einsatz in Schaltungen bestimmt, die mit Schutzkleinspannung betrieben werden:
 - max. zulässige Gleichspannung: 60 V
 - max. zulässige Wechselspannung: 25 V
- Höhere Spannung ist nur dann zulässig, wenn sicher gestellt ist, daß sie bei Berührung spannungsführender Teile unverzüglich auf die oben angegebenen oder niedrigere Werte herabgesetzt wird. Dies ist bei den in Abschnitt 3.1 angegebenen Spannungsquellen gewährleistet.
- Max. zulässige Versorgungswechselspannung: 25 V; optimal: 12 V.
- Keine Fremdspannungen an den Ausgang legen!
- Spannungsteilerschaltungen zur Messung von Spannungen über 10 V (s. Abschnitt 3.2.2/3 und Fig. 2.2/3) nur mit Widerständen R_2 bzw. Kondensatoren C_2 bestücken, deren Spannungsfestigkeit für die anliegende Spannung ausreicht; Geräteempfehlung in den Abschnitten 3.2.2 und 3.2.3 beachten; insbesondere auf Kondensatoraufdruck "650 V" achten!

The electrometer amplifier (gain factor 1) is an impedance transformer with extremely high-resistance voltage input ($\geq 10^{13} \Omega$) and low-resistance output ($\leq 1 \Omega$).

The unit is used with a connected voltmeter (e.g. indicator instrument, recorder) to conduct the following measurements:

- 1.1 For quasi-static voltage measurement up to 10 V DC.
- 1.2 For high-resistance measurement of voltages greater than 10 V with an ohmic voltage divider consisting of STE resistors.
- 1.3 For quasi-static measurements of voltages greater than 10 V DC with a capacitive voltage divider consisting of STE capacitors.
2. For measurement of very small currents (1 V at output $\approx 10^{-6}$ A to 10^{-10} A), using STE plug-in resistors from M Ω to 10 G Ω as shunts.
3. As a charge meter (1 V at output $\approx 10^{-6}$ As to 10^{-9} As), with STE capacitors from 10³ nF to 1 nF.

Examples of experiments:

- Measuring charges and voltages in electrostatics
- Measuring charges and voltages on a plate capacitor (544 22 or 23); determination of ϵ_0 .
- Voltage measurement in liquid conductors; electrochemical investigations with a single-rod electrode; recording of equipotential lines in an electrolytic tank (545 09).
- Air ionization due to combustion gases or α radiation
- External photoelectric effect (Hallwachs effect).
- Determination of h with the photo-cell (558 77)
- Franck-Hertz experiment

Literature:

Book "Electrostatics 2: Charges and Fields"
student's experiments with information for the teacher (589 172)

1 Safety Notes

- This device is intended for use in circuits which are operated using protective extra-low voltage:
 - Maximum permissible DC voltage: 60 V
 - Maximum permissible AC voltage: 25 V
- Higher voltages may only be used when it is ensured that they are immediately switched to lower voltages in the case of contact with live (voltage-carrying) parts. This is ensured in the circuits described in section 3.1.
- Max. permissible AC supply voltage: 25 V AC; optimum: 12 V AC
- Do not apply any external voltages to the output!
- Voltage divider circuits for measuring voltages greater than 10 V (see section 3.2.2/3 and fig. 2.2/3) must be fitted with R_2 resistors or C_2 capacitors respectively, with sufficient dielectric strength for the applied voltage; comply with equipment recommendation in sections 3.1.2 and 3.1.3; in particular, be sure to use capacitors which are labelled "650 V"!

Verschmutztes Gehäuse nicht mit aggressiven Lösungsmitteln reinigen (nur mit feuchtem Lappen abwischen).

Do not clean housing with aggressive solvents (just wipe with a damp cloth).

2 Beschreibung, technische Daten

2 Description, technical data

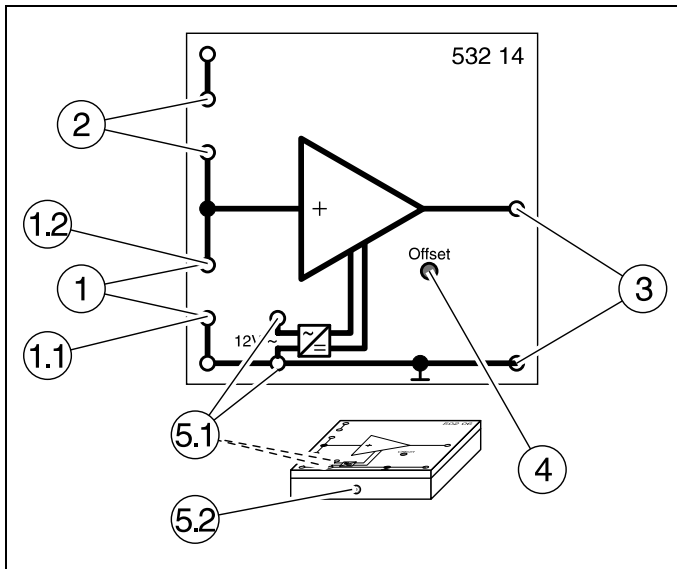


Fig. 1

- ① hochohmiger Verstärkereingang
Buchse (1.1) sowie die intern gemäß aufgedruckter Schaltung damit verbundenen Buchsen auf Masse als Bezugspotential;
Buchse (1.2) sowie die intern oder extern damit verbundenen Buchsen zum Anschluß des positiven oder negativen Potentials der Eingangsspannung (bezogen auf Masse)
Buchsenabstand: 19 mm (zum Aufstecken von STE-Widerständen und -Kondensatoren)
- ② Hilfeingang (Buchsenabstand 19 mm), z.B. zum Aufstecken eines Spannungsteilerwiderstandes oder Kondensators, eines Faradaybechers (546 12) oder der offenen Ionisationskammer (s. Fig. 5/6).
- ③ niederohmiger Verstärkerausgang zum Anschluß beliebiger Spannungsmesser (Meßbereich max. 10 V), sofern sie weniger als 5 mA Strom aufnehmen, z.B. Zeigermeßinstrumente XY- oder YT-Schreiber.
- ④ Trimmer für Offset-Spannung (Betätigung i.a. nicht erforderlich; s. Abschnitt 3.5).
- ⑤ Anschlußbuchsen für Versorgungswechselspannung (12 V~), aus der durch interne Gleichrichtung die zum Betrieb der Operationsverstärker erforderliche Gleichspannung gewonnen wird.

Eingänge (5.1) und (5.2) parallel geschaltet zur wahlweisen Verwendung

- (5.1) 4-mm-Buchsenpaar zum Anschluß der Spannung über Kabel mit 4-mm-Steckern
- (5.2) Buchse für Hohlstecker des Steckernetzgerätes 12 V~/20 W (562 791 für 230 V~ bzw. 562 792 für 115 V~)

- ① High-resistance amplifier input
Socket (1.1) together with sockets connected to it internally as shown in circuit diagram printed on housing are connected to earth as reference potential;
Socket (1.2) together with sockets connected internally or externally are for connection of the positive or negative potential of the input voltage (with reference to earth)
Socket spacing: 19 mm
(for plugging in STE resistors and capacitors)
- ② Auxiliary input (socket spacing 19 mm), e.g. for plugging in a voltage divider resistor or capacitor, a Faraday's cup (546 12) or an open ionization chamber (see fig. 5/6).
- ③ Low-resistance amplifier output for connection of any voltmeter (max. range 10 V) requiring less than 5 mA current e.g. indicator instruments, XY or YT recorders.
- ④ Trimmer for offset voltage (operation generally not required; see section 3.4).
- ⑤ Connecting sockets for AC supply voltage (12 V AC), from which the DC voltage required for the operational amplifier is derived by internal rectification.

Inputs (5.1) and (5.2) are connected in parallel and can be used as desired.

- (5.1) 4-mm socket pair for connecting the voltage via connecting leads with 4-mm plugs
- (5.2) Socket for cannon plug of plug-in supply unit 12 V AC/20 W (562 791 for 230 V AC or 662 792 for 115 V AC).

Technische Daten

Verstärkung:	1.00
Eingangswiderstand:	$\geq 10^{13} \Omega$
Eingangsstrom:	$\leq 0,5 \text{ pA}$
Eigeneingangskapazität:	$\leq 50 \text{ pF}$
Eingangsspannungsbereich:	$\pm 10 \text{ V-}$ 1 kV- (aus Netzeräten) 10 kV- (erzeugt mit geriebenen Stäben)
Überspannungsfestigkeit	
Ausgangsspannungshub:	$\pm 10 \text{ V-}$ bei einer Versorgungsspannung von 12 V~
Ausgangsstrom:	5 mA, dauerkurzschlußfest
Ausgangswiderstand:	$\leq 1 \Omega$
Abmessungen:	ca. 11,5 cm x 11,5 cm x 3 cm
Masse:	0,15 kg

Technical data

Gain:	1.00
Input resistance:	$\geq 10^{13} \Omega$
Input current:	$\leq 0.5 \text{ pA}$
Internal input capacitance	$\leq 50 \text{ pF}$
Input voltage range:	$\pm 10 \text{ V DC}$ 1 kV DC (from power supplies) 10 kV DC (generated using friction rods)
Overvoltage protection:	
Output voltage excursion:	$\pm 10 \text{ V DC}$ for a supply voltage of 12 V AC
Output current:	5 mA, proof against constant short circuit
Output resistance:	$\leq 1 \Omega$
Dimensions:	approx. 11.5 cm x 11.5 cm x 3 cm
Weight:	0.15 kg

3 Bedienung

Wichtig!

Aufgrund der großen Meßempfindlichkeit des Elektrometerverstärkers können sich bei einigen Versuchen Influenzeinflüsse störend bemerkbar machen (z.B. Ladungsmessung mit dem Faradaybecher; Messung von Ionisationsströmen; Franck-Hertz-Versuch).

Abhilfe: Experimentator über Anschlußstab (532 16) und Experimentierkabel mit einer Massebuchse des Verstärkers verbinden; Masseanschluß erden.

3 Operation

Important!

Because of the high sensitivity of the electrometer amplifier, electrostatic induction effects may cause interference in some experiments (e.g. charge measurement with a Faraday's cup; measurement of ionization currents; Franck-Hertz experiment).

Remedy: connect the experimenter via a connecting rod (532 16) and experiment cable to an earth socket of the amplifier; ground the earth connection.

3.1 Zusätzlich erforderlich

Spannungsquelle 12 V~ zur Versorgung des Elektrometerverstärkers, z.B.

Steckernetzgerät 12 V~/20 W mit Hohlstecker (562 791 für 230 V~ bzw. 562 795 für 115 V~)

oder

Transformator 6 V/12 V; 30 W 562 73

oder

Netzgerät 450 V- 522 27

Vielfach-Meßgerät für Gleichspannungen $\leq 10 \text{ V-}$, z.B.

AV-Meßgerät 531 94

oder

Vielfach-Meßgerät METRAMax 2 531 100

oder

Schreiber z.B. 575 663

Gleichspannungsquelle für den Meßkreis, in dem Spannung, Strom oder Ladung gemessen werden soll; (siehe auch Abschnitt 1)

Kleinspannungsquelle z.B. 521 35

oder

für nicht berührungsgefährliche Spannungen $\geq 42 \text{ V}$:

Netzgerät 450 V- 522 27

oder

Paar Reibstäbe 541 00

Anschlußstab 532 16

STE-Hochohmwiderstände und STE-Kondensatoren s. Abschnitte 3.2 bis 3.4.

3.1 Additional requirements

Voltage source 12 V AC for supply to electrometer amplifier, e.g.

Plug-in supply unit 12 V~/20 W with cannon plug (562 791 for 230 V AC or 562 795 for 115 V AC)

or

6 V/12 V transformer; 30 W 562 73

or

Power supply 450 V DC 522 27

Multimeter for DC voltages $\leq 10 \text{ V DC}$, e.g.

AV-meter 531 94

or

Multimeter METRAMax 2 531 100

or

Recorder e.g. 575 662

DC voltage source for the experiment circuit in which voltage, current or charge is to be measured, e.g.

Low voltage source e.g. 521 35

or

for non-hazardous voltages $\geq 42 \text{ V}$:

Power supply 450 V DC 522 27

or

High-voltage power supply unit 10 kV 521 70

or pair of friction rods 541 00

Connection rod 532 16

STE high-resistance resistors and STE capacitors: see sections 3.1 to 3.3.

3.2 Spannungsmessung

3.2.1 Quasistatische Messung von Spannungen bis 10 V– (s. Fig. 2.1)

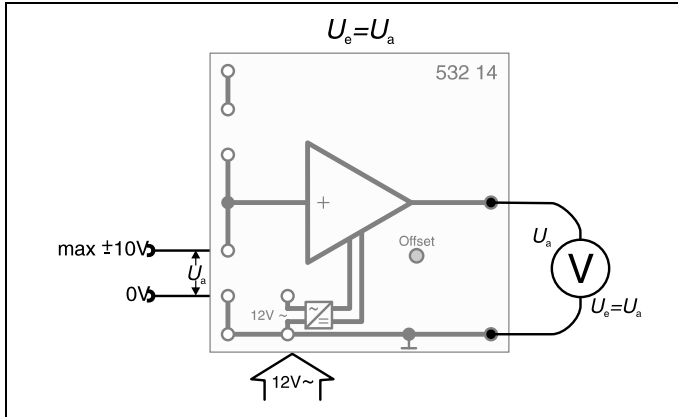


Fig .2.1

Quasistatische Messung von Spannungen bis 10 V–
Quasi-static measurement of voltages up to 10 V DC

3.2 Voltage measurement

3.2.1 Quasi-static measurement of voltages up to 10 V DC (see fig. 2.1)

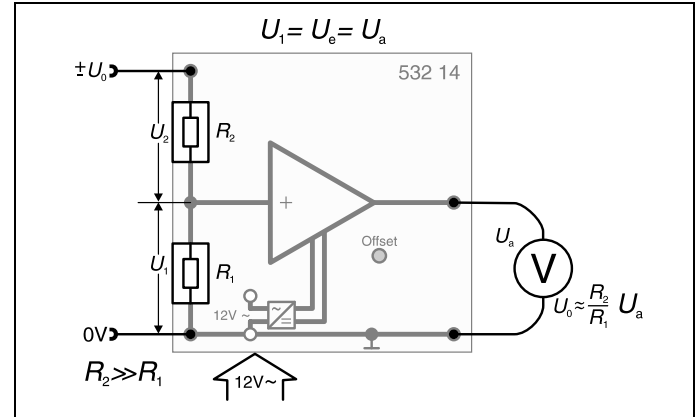


Fig. 2.2

Hochohmige Messung von Spannungen über 10 V
High-impedance measurement of voltages greater than 10 V

3.2.2 Hochohmige Messung von Spannungen über 10 V–

Prinzip (s. Fig. 2.2):

Über einen ohmschen Spannungsteiler R_1, R_2 wird die zu messende Gesamtspannung

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad (1)$$

geteilt; dabei ist U_1 die Verstärkereingangsspannung U_e .
Es gilt

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

oder

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2} \cdot U_2 \quad (3.1)$$

und

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 \quad (3.2)$$

Ist R_1 klein gegen R_2 und damit wegen (2) U_1 klein gegen U_2 ,
so kann U_1 in (1) vernachlässigt werden.

Damit folgt aus (1) unter Berücksichtigung von (3.2) und der
Gleichheit $U_1 = U_e = U_a$

$$U_0 \approx U_2 \\ \approx U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = U_a \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Wichtig:

Widerstände so wählen, daß der Spannungsabfall an R_1 10 V
nicht übersteigt.

Erforderliche STE-Widerstände:

- 1 MΩ (577 76)
- 10 MΩ (577 78)
- 100 MΩ (577 00)
- 1 GΩ (577 02)
- 10 GΩ (577 03)

3.2.2 High-resistance measurement of voltages greater than 10 V DC

Principle (see fig. 2.2):

The total voltage to be measured

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad (1)$$

is divided by an ohmic voltage divider R_1, R_2 ; U_1 is the
amplifier input voltage U_e . The following applies:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

or

$$U_1 = \frac{R_1}{R_2} \cdot U_2 \quad (3.1)$$

and

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_1 \quad (3.2)$$

If R_1 is low compared to R_2 and therefore low compared to U_2
due to (2), U_1 may be neglected in (1). Consequently, from (1),
taking into account (3.2) and the equation $U_1 = U_e = U_a$, we
obtain:

$$U_0 \approx U_2 \\ \approx U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} = U_a \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

Important:

Select resistors so that the voltage drop at R_1 does not exceed
10 V.

STE resistors required:

- 1 MΩ (577 76)
- 10 MΩ (577 78)
- 100 MΩ (577 00)
- 1 GΩ (577 02)
- 10 GΩ (577 03)

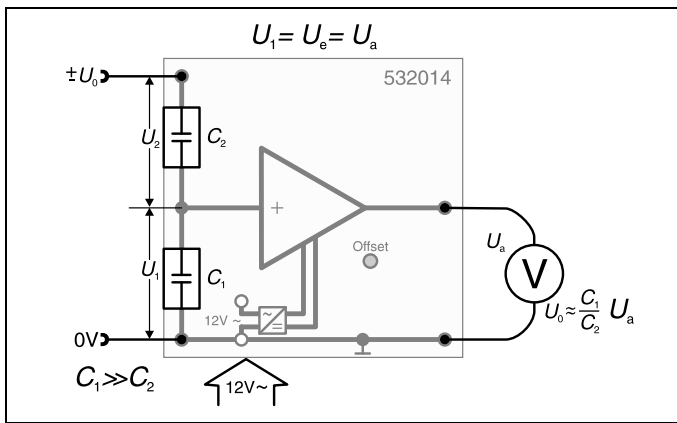


Fig. 2.3

Quasistatische Messungen von Spannungen über 10 V
Quasi-static measurement of voltages greater than 10 V

Prinzip (s. Fig. 2.3):

In Analogie zum Ohmschen Spannungsteiler (Abschnitt 3.1.2)

gilt unter Berücksichtigung von $C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1} \cdot U_2$$

und

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1$$

Mit $C_1 \gg C_2$ ergibt sich für die Gesamtspannung

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad \text{mit } U_1 \ll U_2$$

$$U_0 = U_2$$

$$U_0 = U_1 \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

$$= U_a \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

Wichtig:

Kondensatoren so wählen, daß der Spannungsabfall an C_1 10 V nicht übersteigt; für C_2 nur Kondensatoren passender Spannungsfestigkeit verwenden; Aufdruck beachten!

Erforderliche STE-Kondensatoren:

100 pF, 630 V	(578 22)
1 nF, 630 V	(578 25)
10 nF, 100 V	(578 10)
100 nF, 100 V	(578 31)
1 µF, 100 V	(578 15)

3.3 Strommessung

Prinzip (s. Fig. 3):

Fließt durch den Widerstand R ein Strom I , so fällt an R eine Spannung U_e ab. Nach dem Ohmschen Gesetz gilt

$$U_e = R \cdot I$$

Der Spannungsabfall U_e an R ist also ein Maß für die Stromstärke I :

$$I = \frac{U_e}{R}$$

Wegen $U_e = U_a$ gilt diese Beziehung auch für die Ausgangsspannung U_a :

$$I = \frac{U_a}{R}$$

Principle (see fig. 2.3):

By analogy with the ohmic voltage divider (para 3.1.2), the

following applies, taking $C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$

into account:

$$U_1 = \frac{C_2}{C_1} \cdot U_2$$

and

$$U_2 = \frac{C_1}{C_2} \cdot U_1$$

When $C_1 \gg C_2$ we obtain, for the total voltage

$$U_0 = U_1 + U_2 \quad \text{with } U_1 \ll U_2$$

$$U_0 = U_2$$

$$U_0 = U_1 \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

$$= U_a \cdot \frac{C_1}{C_2}$$

Important:

Select capacitors so that the voltage drop at C_1 does not exceed 10 V; for C_2 use capacitors with suitable dielectric strength only. Observe the value printed on the element!

STE capacitors required:

100 pF, 630 V	(578 22)
1 nF, 630 V	(578 25)
10 nF, 100 V	(578 10)
100 nF, 100 V	(578 31)
1 µF, 100 V	(578 15)

3.3 Current measurement

Principle (see fig. 3):

If a current I flows through resistor R a voltage drop U_e occurs at R . According to Ohm's law:

$$U_e = R \cdot I$$

The voltage drop U_e at R is therefore a measure of current intensity I :

$$I = \frac{U_e}{R}$$

Since $U_e = U_a$ this relationship also applies for output voltage U_a :

$$I = \frac{U_a}{R}$$

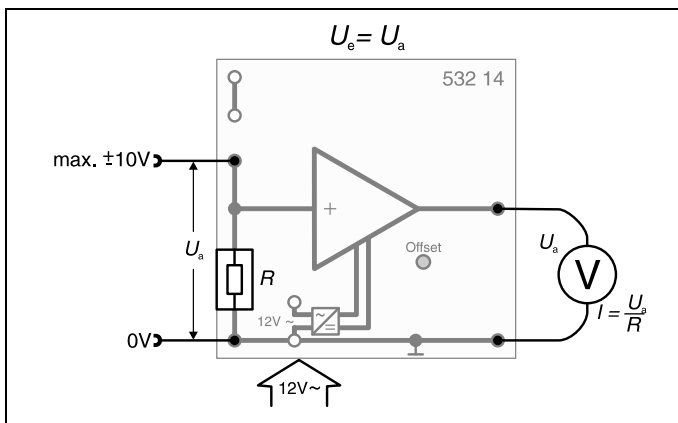


Fig. 3
Strommessung
Current measurement

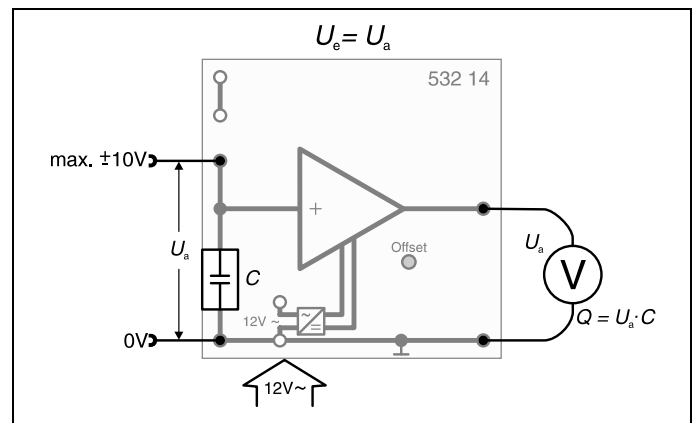


Fig. 4
Ladungsmessung
Charge measurement

Erforderliche STE-Widerstände zur Strommessung:

Kat.-Nr.	Widerstand	I bei $U_a = 1\text{ V}$
577 76	1 M Ω	10^{-6} A
577 78	10 M Ω	10^{-7} A
577 00	100 M Ω	10^{-8} A
577 02	1 G Ω	10^{-9} A
577 03	1 G Ω	10^{-10} A

Tabelle 1

STE resistors required:

Cat.-No.	Resistor	I at $U_1 = 1\text{ V}$
577 76	1 M Ω	10^{-6} A
577 78	10 M Ω	10^{-7} A
577 00	100 M Ω	10^{-8} A
577 02	1 G Ω	10^{-9} A
577 03	1 G Ω	10^{-10} A

Table 1

3.4 Ladungsmessung

Prinzip (s. Fig. 4)

Zwischen der Ladung Q und der Spannung U eines Kondensators der Kapazität C besteht die Beziehung:

$$Q = C \cdot U_2$$

Wegen $U_e = U_a$ ist die Ausgangsspannung U_a ein Maß für die Ladung Q :

$$Q = U_a \cdot C$$

Erforderliche STE-Kondensatoren:

Kat.-Nr.	Kapazität	Q bei $U_A = 1\text{ V}$
578 15	1 μF	10^{-6} As
578 31	100 nF	10^{-7} As
578 10	10 nF	10^{-8} As
578 25	1 nF	10^{-9} As

Tabelle 2

Zur quantitativen Untersuchung von Ladungen in der Elektrostatik zweckmäßigerweise Faraday-Becher (546 12), der auf einen Stecker (z.B. aus 340 89) aufgesteckt wird, benutzen; Versuchskörper - z.B. geriebenen Stab - zur Erfassung seiner gesamten Ladung gemäß Fig. 6 in den feldfreien Raum im Becher tauchen.

3.5 Offset-Kompensation

Eine sogenannte Offsetspannung, die bei kurzgeschlossenem Verstärkereingang ($U_e = 0$) in seltenen Fällen am Verstärkerausgang auftreten kann, durch Betätigen des Schraubendreher-Potentiometers ④ auf Null kompensieren.

3.4 Charge measurement

Principle (see fig. 4):

The following relation exists between the charge Q and the voltage U of a capacitor C :

$$Q = C \cdot U_2$$

Since $U_e = U_a$, output voltage U_a is a measurement for charge Q :

$$Q = U_a \cdot C$$

STE capacitors required:

Cat.-No.	Capacity	Q at $U_A = 1\text{ V}$
578 15	1 μF	10^{-6} As
578 31	100 nF	10^{-7} As
578 10	10 nF	10^{-8} As
578 25	1 nF	10^{-9} As

Table 2

For quantitative investigation of charges in electrostatics, use the Faraday cup (546 12), which is connected by plug (e.g. from 501 561); immerse the specimen - e.g. friction rod - in the field-free area in the cup to record total charge according to fig. 6.

3.5 Offset compensation

Compensate for an offset voltage, which may occur in rare cases with a shorted amplifier input ($U_e = 0$), by zeroing the screwdriver potentiometer ④.

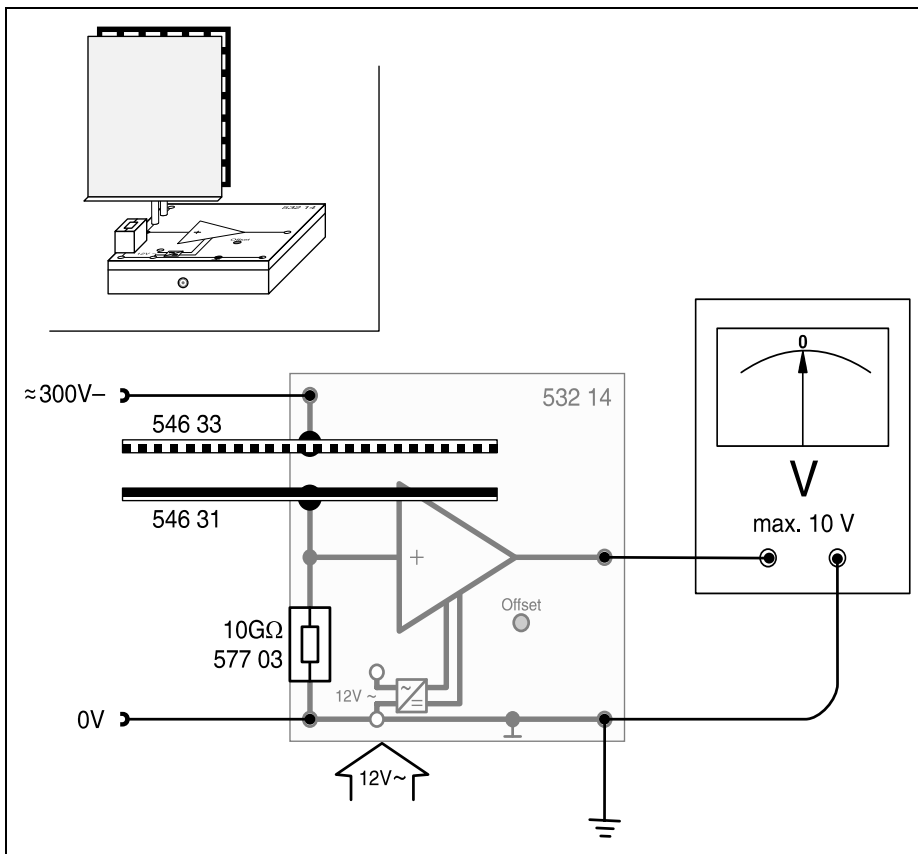


Fig. 5

Anordnung zum Nachweis der ionisierenden Wirkung von Flammengasen oder α -Strahlung, die in eine aus einer Zinkplatte (546 31) und einer Gitterelektrode (546 33) aufgebaute offene Ionisationskammer eingebracht werden.

Arrangement for demonstrating the ionizing effect of combustion gases or α radiation applied to an open ionization chamber consisting of a zinc plate (546 31) and a grid electrode (546 33).

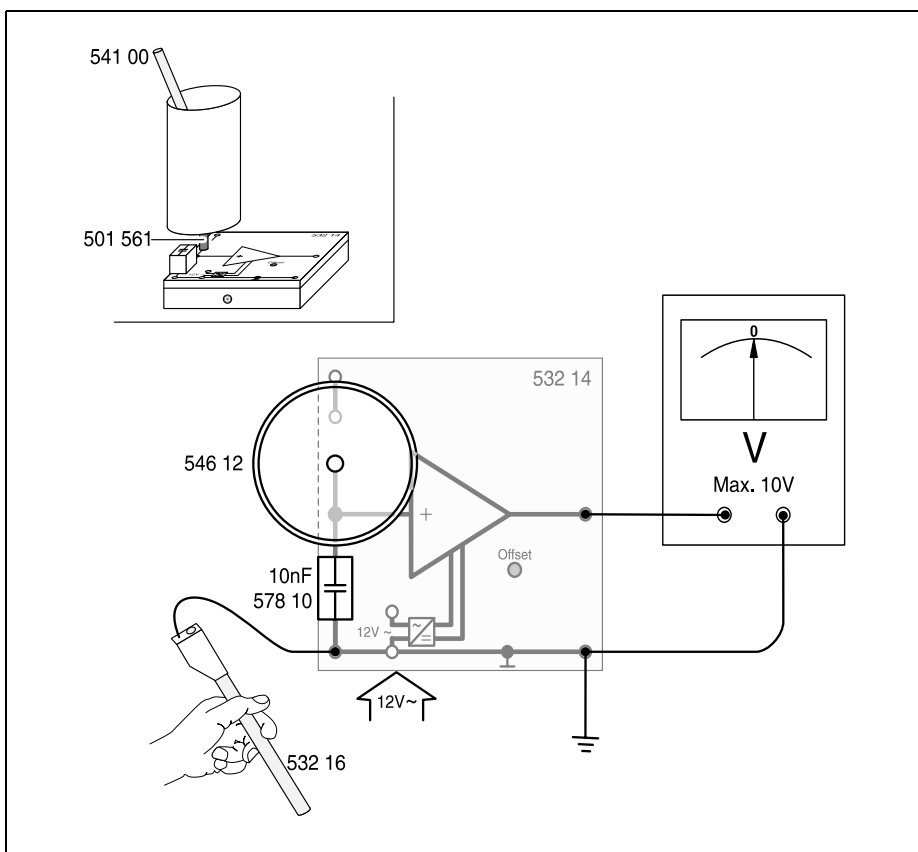


Fig. 6

Anordnung zur Ladungsmessung in der Elektrostatik.
Wichtig: Experimentator über Anschlußstab (532 16) mit der Gerätemasse (Bezugspotential) verbinden!

Arrangement for charge measurement in electrostatics.
Important: connect the experimenter to equipment earth (reference potential) via connecting rod (532 16)!