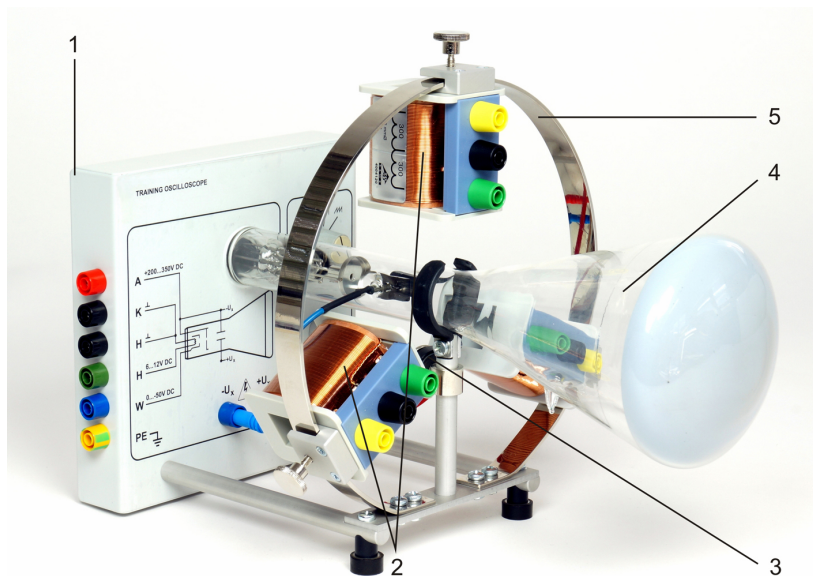


Lehroszilloskop 1025250

Bedienungsanleitung

05/16 CW/ALF/UD



- 1 Betriebselektronik
- 2 Ablenkspulen
- 3 Ringmagnet
- 4 Braunsche Röhre
- 5 Metallring

1. Sicherheitshinweise

Das Lehroszilloskop wird zum Teil mit Spannungen von über 60 V betrieben.

- Die Beschaltung nur bei ausgeschaltetem Netzgerät durchführen.
- Sicherheitskabel verwenden.

Da die Glasröhre evakuiert ist, besteht Implosionsgefahr.

- Röhre keinen Stößen und mechanischen Belastungen aussetzen.

In Schulen und Ausbildungseinrichtungen ist der Betrieb des Gerätes durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.

2. Beschreibung

Mit dem Lehroszilloskop kann die Ablenkung eines Elektronenstrahls durch elektrische und magnetische Felder, wie sie in Fernsehgeräten oder messtechnischen Oszilloskopen Anwendung findet, demonstriert werden. Es besteht im Wesentlichen aus einer Braun'schen Röhre, die über 4-mm-Stecker mit Spannung versorgt wird

und von einem Ring umgeben ist, an dem Ablenkspulen befestigt werden können.

Die Braun'sche Röhre ist ein evakuiertes Glaskolben, in dessen Hals sich im Abstand von etwa einem halben Zentimeter eine Glühkathode und eine Anode in Form einer Lochscheibe befinden. Die aus der Kathode tretenden Elektronen werden zur Anode hin beschleunigt, wobei ein Teil das Loch durchquert und einen Strahl formt, der auf den Leuchtschirm aus Zinksilikat auftrifft und dort grüne Fluoreszenz hervorruft. Die Fokussierung des Strahls erfolgt einerseits über den die Kathode umgebenden Wehneltzylinder, der gegen die Kathode auf einem negativen Potential liegt. Andererseits ist die Röhre mit Neon unter einem Druck von ca. 1 Pa gefüllt, das den Strahl durch Gaskonstriktion bündelt und gleichzeitig sichtbar macht.

Es befinden sich weiterhin zwei gegenüberliegende, parallel zum Strahl ausgerichtete Ablenkplatten in der Röhre, die an den integrierten Sägezahn-generator oder eine externe Spannungsquelle angeschlossen werden können. Der Generator liefert Sägezahnspannungen im Frequenzbereich von 3,5 bis 650 Hz mit einer Amplitude von 100 V bezogen auf das Anodenpotential.

3. Technische Daten

Anodenspannung:	200...350 V DC
Anodenstrom:	max. 1 mA
Heizspannung:	6...12 V DC
Wehneltspannung:	-50...0 V DC
Größe d. Ablenklplatten:	12 x 20 mm ²
Plattenabstand:	14 mm
Ablenkspulen:	300 + 300 Wdg. R _i = 4,2 Ω L = 6 mH
Sägezahnspannungen:	V _{pp} = 100 V f = 3,5..650 Hz

4. Bedienung

4.0 Betriebselektronik

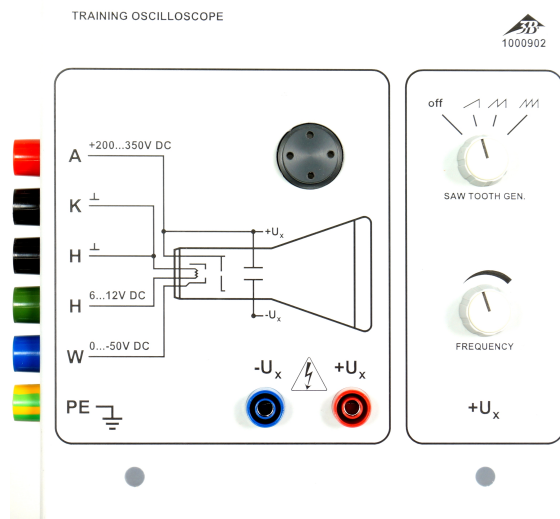


Fig. 1: Betriebselektronik.

Eingänge:

A	Anode
K	Kathode
H	Heizung
W	Wehneltzylinder
⊥	Masse
PE	Schutzerde

Ausgänge:

-U _x	Ablenkplatte links
+U _x	Ablenkplatte rechts

Sägezahngenerator:

	einfache Frequenz
	doppelte Frequenz
	dreifache Frequenz
Frequenz:	Sägezahnfrequenz

4.1 Inbetriebnahme

Zur Stromversorgung des Lehrsilloskops werden Netzgeräte benötigt, die die folgenden Spannungen liefern:

- 200-350 V DC regelbar,
- 0-50 V DC regelbar,
- 6-12 V DC.

Hierfür eignen sich besonders die Netzgeräte 1001011 / 1001012 und 1003307 / 1003308, welche all diese Spannungen zur Verfügung stellen.

Hinweis:

Das Lehrsilloskop funktioniert, abhängig von der eingebauten Röhre, in der Regel bei Anodenspannungen bis ca. 300 V. Die Anodenspannung darf jedoch 350 V nicht überschreiten.

- Netzgerät ausschalten.
- Eingänge des Lehrsilloskops mit den Ausgängen des Netzgeräts gemäß den angegebenen Spannungen verbinden.
- Spannungsregler so einstellen, dass die Grenzwerte nicht überschritten werden.
- Netzgerät einschalten.

Nach 10-30 s erscheint auf dem Leuchtschirm ein grüner Fleck, der den auftreffenden Elektronenstrahl markiert. Um die Röhre für didaktische Zwecke möglichst einfach und übersichtlich zu halten, wurde auf zusätzliche Einrichtung zur Nachbeschleunigung und Fokussierung des Strahls verzichtet. Aus diesem Grund kann der Strahl in der Regel nicht so scharf wie in messtechnischen Oszilloskopen fokussiert werden.

- Wehneltspannung variieren bis der Fleck seine minimale Ausdehnung erreicht.

Der Elektronenstrahl ist auch in der Röhre als rötlicher Faden sichtbar, jedoch aufgrund der geringen Helligkeit nur im abgedunkelten Raum.

4.2 Ablenkeinrichtungen

4.2.1 Elektrische Ablenkung

Über die in der Röhre befindlichen Ablenklplatten kann der Elektronenstrahl durch anlegen einer Spannung von max. 100 V horizontal abgelenkt werden. Für die meisten Anwendungen wird diese Spannung dem Sägezahngenerator entnommen. Der Strahl wandert dann von links nach rechts und springt anschließend zurück, was sich mit einer einstellbaren Frequenz wiederholt. So können periodische vertikale Ablenkungen, beispielsweise durch ein magnetisches Wechselfeld zeitlich aufgelöst sichtbar gemacht werden.

4.2.2 Magnetische Ablenkung

An dem Metallring, der den Röhrenhals umgibt werden die Spulen befestigt. Zwischen zwei benachbarten Anschlussbuchsen liegen jeweils 300

Windungen. Werden die beiden äußeren Buchsen beschaltet, so fließt der Strom durch alle 600 Windungen. Der Elektronenstrahl wird rechts­händig senkrecht zu Magnetfeld und Flugrichtung abgelenkt. Wenn die Spulen nach innen weisend montiert werden, machen sich schon kleine Ströme von einigen Milliampere bemerkbar.

4.2.3 Strahljustierung

An der mittleren Röhrenhalterung ist ein Ringmagnet beweglich und über eine Schraube feststellbar angebracht. Dieser dient dazu, den Strahl bei abgeschalteter Ablenkung auf den gewünschten Punkt auf dem Leuchtschirm zu justieren.

4.3 Sägezahn­generator

Die Ausgänge des Sägezahn­generators befinden sich unter dem hinteren Befestigungspunkt der Röhre und sind mit $-U_x$ bzw. $+U_x$ beschriftet.

Eine Sägezahn­spannung (häufig auch als „Rampe“ bezeichnet) ist eine zeitlich periodische veränderte Spannung, die von einem Anfangswert linear bis zu einem Endwert ansteigt bzw. abfällt und anschließend zurückspringt.

Vorsicht: Die Sägezahn­spannung bezieht sich auf das Anodenpotential von +250 V.

Am oberen Regler wird der Generator eingeschaltet und die Grobeinstellung der Frequenz vorgenommen. Die Feineinstellung erfolgt am unteren Regler.

5. Versuchsbeispiele

5.1 Elektrische Ablenkung des Elektronenstrahls

- Beschaltung gemäß Fig. 2 vornehmen.
- Spannungsversorgung des Lehrs­zilloskops abschalten.
- Ablenkplatten mit dem Ausgang des Sägezahn­generators verbinden.
- Elektronenstrahl an den linken Rand (ca. 1 cm Abstand) des Leuchtschirms justieren.
- Grobeinstellung der Sägezahn­frequenz auf kleinste Stufe (zweite Position von links) setzen.
- Spannungsversorgung einschalten.

Der Leuchtpunkt erscheint nach 10-30 s auf dem Schirm. Er wandert periodisch von links nach rechts.

- Mithilfe der Feineinstellung die Frequenz ggf. so herunterregeln, dass das Wandern des Punktes klar zu verfolgen ist

5.2 Magnetische Ablenkung des Elektronenstrahls

- Beschaltung gemäß Fig. 3 vornehmen.
- Eine Spule an dem Metallring befestigen.
- Anschlüsse der Spule mit dem DC-Netzgerät verbinden.
- Elektronenstrahl auf die Mitte des Leuchtschirms justieren.
- DC-Netzgerät einschalten und Spulenstrom variieren.

Der Strahl wird senkrecht zu Flug- und Magnetfeldrichtung abgelenkt.

- Polarität, Ausrichtung der Spule und durchflossene Windungszahl verändern und Auswirkungen beobachten.

5.3 Zeitliche Auflösung einer Wechselspannung

Zusätzlich benötigte Geräte:

1 Funktionsgenerator (50 Ω , wenn möglich mit Verstärker) oder AC-Netzgerät, optional: 1 Multimeter mit Frequenzmesser (Maximalspannung min. 150 V).

- Beschaltung gemäß Fig. 4 vornehmen.
- Den Anweisungen aus Versuch 5.1 folgen, Frequenz jedoch nicht herunterregeln und Grobeinstellung auf die mittlere Stufe setzen. Falls ein frequenzzählendes Multimeter vorhanden ist, dieses vor dem Einschalten der Spannungsversorgung parallel zu den Ablenkplatten an die Ausgänge des Sägezahn­generators anschließen. (Vorsicht: die Sägezahn­spannung ist berührungsgefährlich).
- Eine Spule an dem Metallring befestigen.
- Anschlüsse der Spule mit dem Funktionsgenerator verbinden (wenn vorhanden mit dem verstärkten).
- Am Funktionsgenerator eine Frequenz zwischen 30 und 100 Hz einstellen.

Der Strahl wird während seiner Bewegung vom linken zum rechten Rand vertikal abgelenkt.

- Ggf. Ausgangsspannung erhöhen um eine größere Ablenkung zu erzielen.

Durch die schnelle Wiederholung ist die Form der Wechselspannung nur schwer erkennbar, da die Aufzeichnung in der Regel nicht an einem festen Punkt innerhalb der Periode (bei fester Phase) beginnt und sich somit viele gegeneinander verschobene Bilder überlagern. Dieses Problem tritt nicht auf, wenn die Sägezahn­frequenz mit der Frequenz des Eingangssignals aus dem Funktionsgenerator übereinstimmt.

- Mit der Feineinstellung die Frequenz suchen, bei der ein scheinbar stehendes Bild erscheint, welches eine Schwingungsperiode zeigt.

Bei welchen Sägezahnfrequenzen erscheint ebenfalls ein stehendes Bild?

5.4 Lissajous-Figuren

Zusätzlich benötigte Geräte:

1 Funktionsgenerator (50 Ω , wenn möglich mit Verstärker) und 1 AC-Netzgerät oder 2 Funktionsgeneratoren.

- Beschaltung gemäß Fig. 5 vornehmen.
- Eine Spule nach innen weisend mit horizontal ausgerichteter Achse am Metallring montieren
- Eingänge (grün, gelb) mit dem AC-Netzgerät oder dem zweiten Funktionsgenerator (eingestellt auf eine 50 Hz-Sinusspannung) verbinden. Amplitude so wählen, dass der auf dem Schirm erscheinende Strich etwa halb so lang ist, wie der Durchmesser des Schirms.
- Mit dem Ringmagnet den Strich mittig und horizontal ausrichten.
- Eine weitere Spule nach innen weisend mit vertikal ausgerichteter Achse am Metallring montieren.
- Eingänge (grün, gelb) mit dem ersten Funktionsgenerator (eingestellt auf eine 50 Hz-Sinusspannung) verbinden.

Es erscheint eine Ellipse, die sich je nachdem, wie gut die Frequenzen der Eingangssignale übereinstimmen, langsamer oder schneller verformt. Dabei wird pro Zyklus zweimal die Form einer geneigten Geraden angenommen.

- Amplitude des ersten Funktionsgenerators so anpassen, dass die Neigung der Geraden 45° beträgt und während des Übergangs ein Kreis entsteht.

Es werden bereits die einfachsten Lissajous-Figuren beobachtet. Die Formen hängen vom Verhältnis der Frequenzen und von der Phasenverschiebung ab. Durch eine geringe Abweichung von der exakten Sollfrequenz bei einem der beiden Funktionsgeneratoren (in der Regel genügt schon die Ungenauigkeit der Geräte) läuft die Phasenverschiebung automatisch durch und alle Figuren zu einem Frequenzverhältnis können nacheinander betrachtet werden.

- Frequenz des ersten Funktionsgenerators auf Vielfache der Horizontalfrequenz (50 Hz) einstellen.

Es sind die Lissajous Figuren zu den Frequenzverhältnissen 2:1, 3:1, 4:1,... zu beobachten.

Weitere Lissajous-Figuren entstehen bei gebrochenen Vielfachen der Horizontalfrequenz (z.B. 3:2 (75 Hz), 4:3 (66,7 Hz).

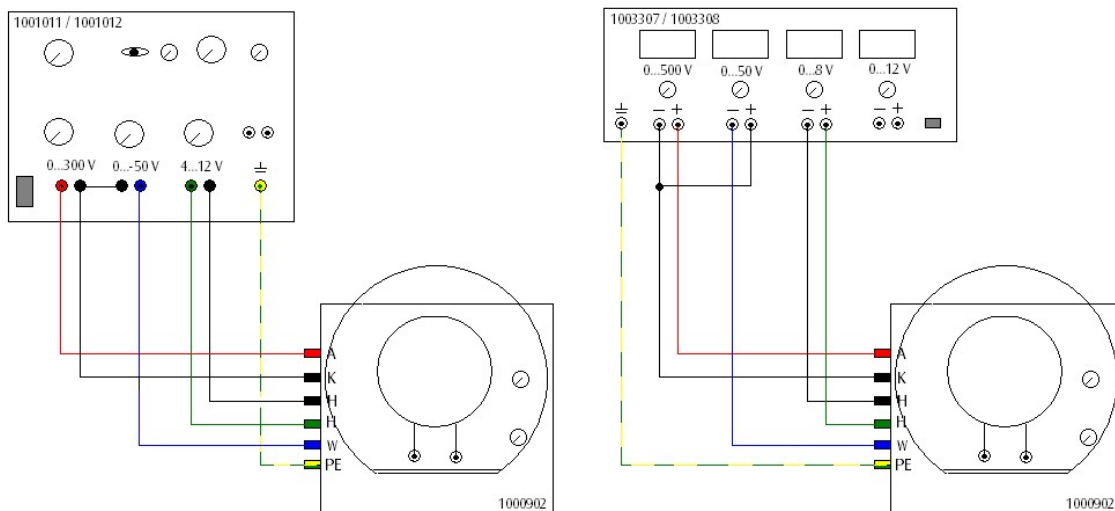


Fig.2 Elektrische Ablenkung des Elektronenstrahls (links: mit Netzgerät 1001011 / 1001012, rechts: mit Netzgerät 1003307 / 1003308).

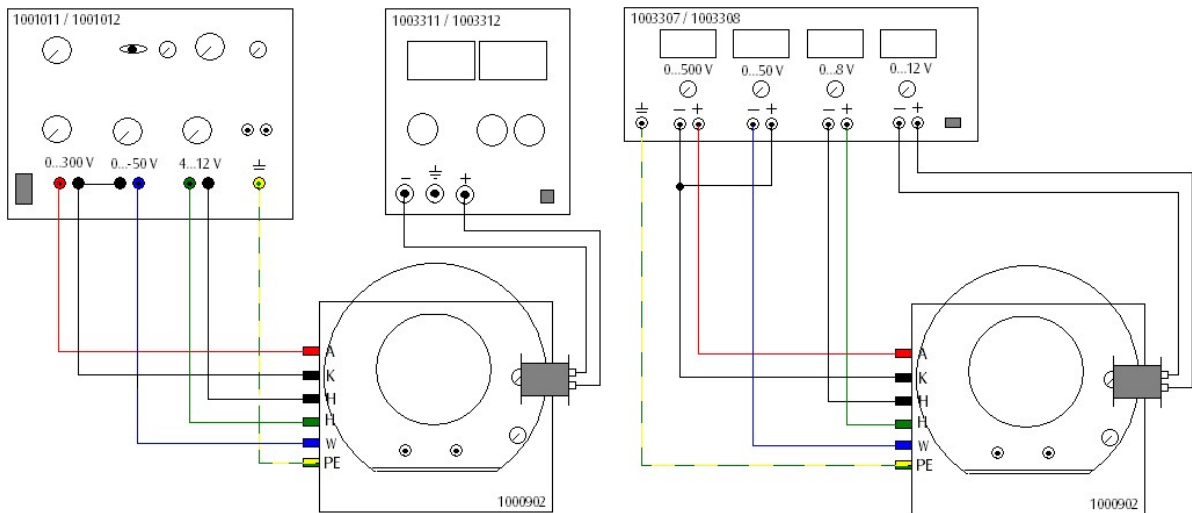


Fig.3 Magnetische Ablenkung des Elektronenstrahls (links: mit Netzgerät 1001011 / 1001012 und Netzgerät 1003311 / 1003312, rechts: mit Netzgerät 1003307 / 1003308).

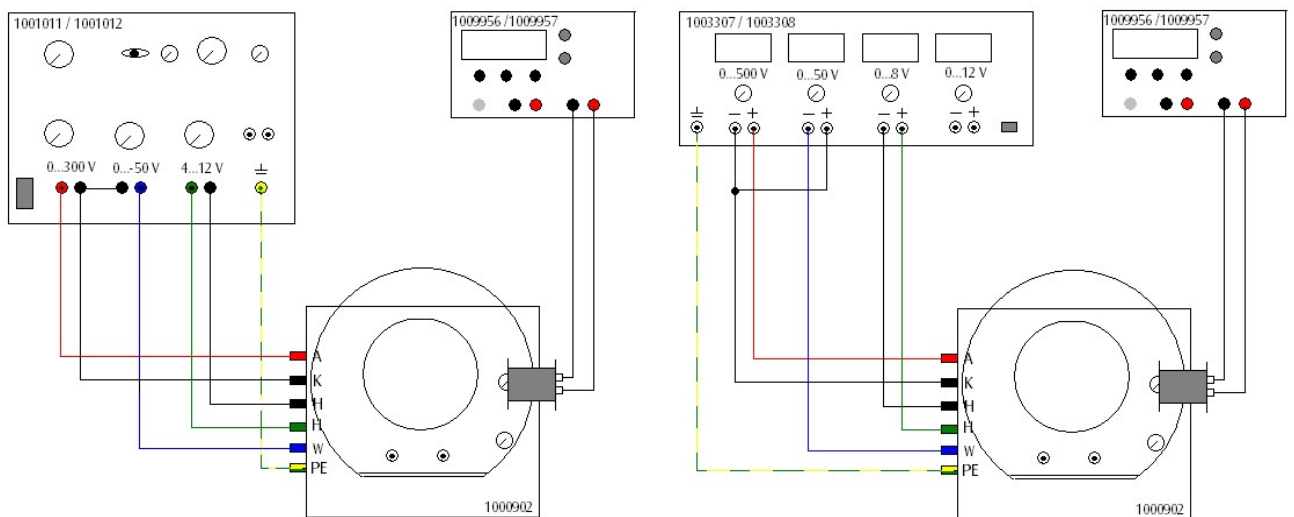


Fig.4 Zeitliche Auflösung einer Wechselspannung (links: mit Netzgerät 1001011 / 1001012 und Funktionsgenerator 1009956 / 1009957, rechts: mit Netzgerät 1003307 / 1003308 und Funktionsgenerator 1009956 / 1009957).

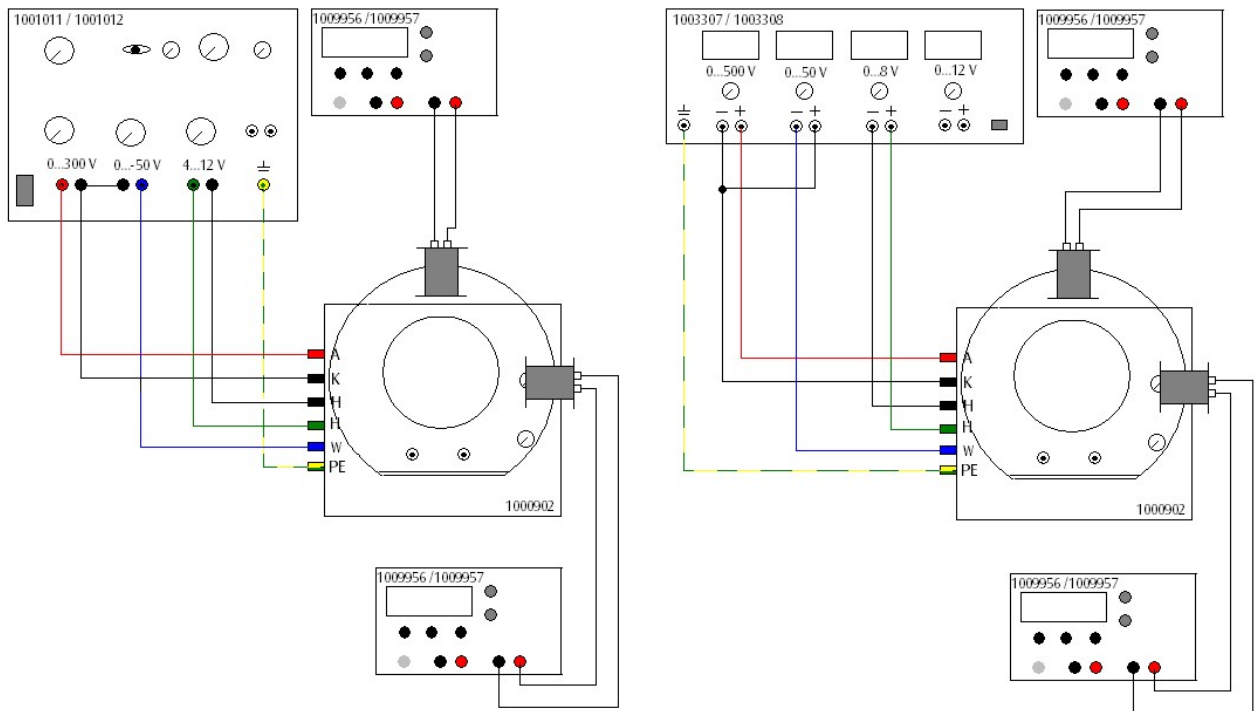
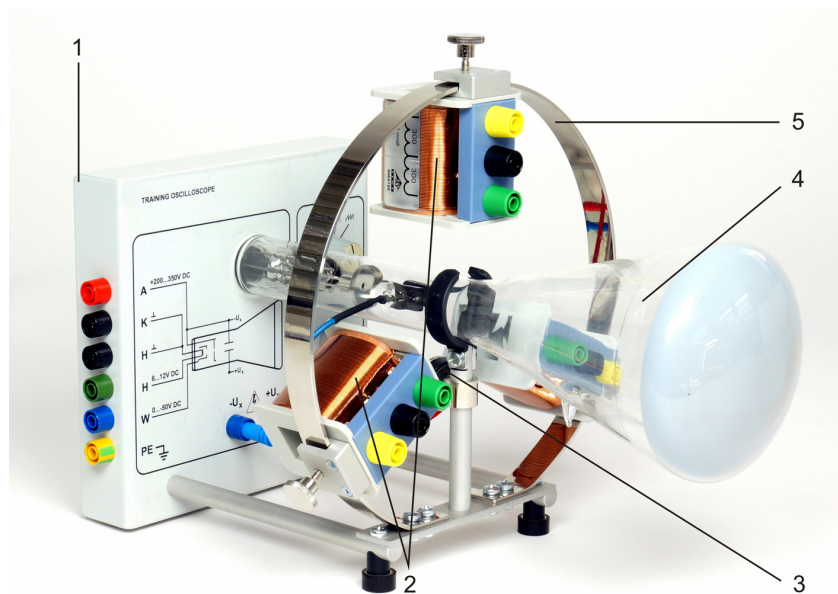


Fig.5 Erzeugung von Lissajous-Figuren (links: mit Netzgerät 1001011 / 1001012 und 2x Funktionsgenerator 1009956 / 1009957, rechts: mit Netzgerät 1003307 / 1003308 und 2x Funktionsgenerator 1009956 / 1009957).

Demonstration oscilloscope 1025250

Instruction sheet

05/16 CW/ALF/UD



- 1 Electronic control unit
- 2 Deflecting coils
- 3 Circular magnet
- 4 Cathode ray tube
- 5 Metal ring

1. Safety instructions

The demonstration oscilloscope is operated with voltages, some of which are above 60 V.

- Always turn off power supply before making connections.
- Use safety leads.

Since the glass tube is evacuated, there is an implosion hazard.

- Do not subject the tube to sharp blows or mechanical stress.

In schools and training institutions, operation of the device is to be responsibly supervised by trained personnel.

2. Description

The demonstration oscilloscope can be used to show the deflection of an electron beam by electric and magnetic fields, just as employed in TVs or conventional oscilloscopes. Essentially, it consists of a cathode ray tube that is supplied with voltage via 4-mm plugs and is surrounded by a

ring, to which deflecting coils can be attached.

A cathode ray tube is an evacuated glass tube, the neck of which contains a heated cathode and an anode in the shape of a disc with a hole in the middle, separated by a distance of approximately half a centimetre. Electrons emitted from the heated cathode are accelerated towards the anode. Some of them pass through the hole to form a beam that strikes the fluorescent screen (with zinc silicate coating) and thus becomes visible as a green fluorescent dot. The beam is focussed partly by a Wehnelt cylinder surrounding the cathode, the potential of which is negative with respect to the cathode potential, and partly by gas constriction as a result of the tube being filled with neon at a pressure of approx. 1 Pa that also renders the beam visible inside the tube.

There are also two opposing deflection plates in the tube, oriented parallel to the beam, which can be connected to the integrated saw-tooth generator, or to an external voltage supply. The generator supplies saw-tooth voltage waveforms with a frequency range of 3.5 to 650 Hz and an amplitude of 100 V relative to the anode potential.

3. Technical data

Anode voltage:	200...350 V DC
Anode current:	1 mA max.
Heater voltage:	6...12 V DC
Wehnelt voltage:	-50...0 V DC
Size of deflection plates:	12 x 20 mm ²
Distance of deflection plates:	14 mm
Deflecting coils:	300 + 300 turns R _i = 4.2 Ω L = 6 mH
Saw-tooth voltages:	V _{pp} = 100 V f = 3.5..650 Hz

4. Operation

4.0 Electronic control unit

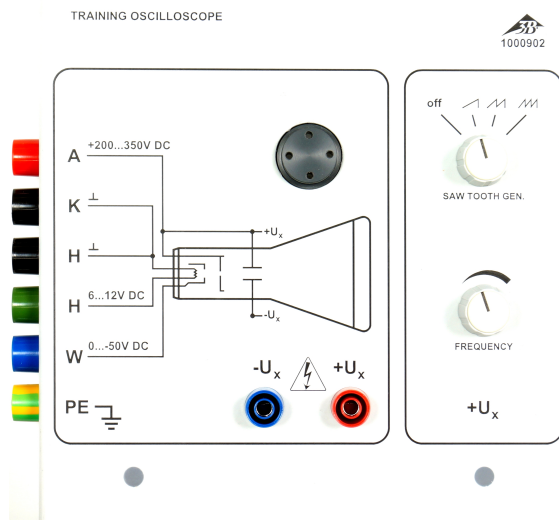


Fig. 1: Electronic control unit

Inputs:

A	Anode
K	Cathode
H	Heating
W	Wehnelt cylinder
⊥	Ground
PE	Protective earth

Outputs:

-U _x	Negative voltage for deflection plate, left
+U _x	Positive voltage for deflection plate, right

Saw-tooth generator:

	Single frequency
	Double frequency
	Triple frequency
Frequency:	Saw-tooth frequency

4.1 To start operation

In order to supply current to the demonstration oscilloscope, power supplies are required that can output the following voltages:

- 200-350 V DC, regulated,
- 0-50 V DC, regulated,
- 6-12 V DC.

Power supplies 1001011 / 1001012 and 1003307 / 1003308, which can supply all of these voltages, are particularly well suited to this end.

Note:

As a rule, the training oscilloscope operates at anode voltages up to about 300 V depending on what tube is connected. The anode voltage must not, however, exceed 350 V.

- Turn off the power supply.
- Connect the inputs of the demonstration oscilloscope to the outputs of the power supply, that supply the specified voltages.
- Adjust the voltage so as to not to exceed the limits.
- Turn on the power supply.

After 10-30 sec, a green spot appears on the fluorescent screen, which denotes where the electron beam is hitting the screen. In order to keep the tube as simple and clear as possible for educational purposes, it was decided to do without additional apparatus for secondary acceleration and focusing of the beam. For this reason, it is not usually possible to focus the beam to the sharpness seen in conventional oscilloscopes.

- Vary the Wehnelt voltage until the spot reaches its minimum dimensions.

The electron beam is visible as a reddish thread inside the tube, but only in a darkened room because of its low intensity.

4.2 Deflecting apparatus

4.2.1 Electrical deflection

Using the deflecting plates located inside the tube, the electron beam can be deflected horizontally by applying a voltage of up to 100 V. For most applications, a saw-tooth generator is used to supply this voltage. In this case, the beam goes from left to right and then quickly flicks back again. This is repeated at a fixed frequency that can be adjusted. By this means it is possible to display vertical deflections that are also periodic, such as an alternating magnetic field.

4.2.2 Magnetic deflection

Attach the coils to the magnetic ring surrounding the neck of the tube. Between each neighbouring socket, there are 300 turns so that if a connection is made to the two outer sockets, the current flows through all 600 turns. The electron beam is deflected to the right, perpendicular to the magnetic field and the direction of the beam. If the coils are mounted facing inward, even small currents of a few milliamps will be noticeable.

4.2.3 Beam adjustment

A magnet is attached to the tube support in the middle that can be adjusted by a screw so that

the beam can be aligned to strike a specific point on the screen when the deflecting apparatus is turned off.

4.3 Saw-tooth generator

The outputs of the saw-tooth generator are located below the mounts at the rear of the tube and are labelled $-U_x$ and $+U_x$, respectively.

A saw-tooth voltage (also frequently called a ramp) is a voltage that changes periodically over time, increasing or decreasing linearly from an initial value then returning instantaneously to the start.

Caution: the saw-tooth voltage is relative to the anode potential of +250 V.

The upper knob is used to turn on the generator and make a coarse adjustment of the frequency. Fine adjustment is completed with the lower knob.

5. Sample experiments

5.1 Electrical deflection of the electron beam

- Set up the experiment as in fig. 2.
- Turn off the voltage supply to the demonstration oscilloscope
- Connect deflecting plates to the output of the saw-tooth generator.
- Adjust the electron beam so that it strikes the fluorescent screen on the left-hand side (about 1 cm from the edge).
- Set the coarse adjustment of the saw-tooth frequency to its minimum level (second position from the left).
- Turn on the voltage supply.

After 10-30 sec, the fluorescent dot appears on the screen. It should migrate periodically from left to right.

- If necessary, decrease the frequency using the fine adjustment knob so that the migration of the point can be clearly tracked.

5.2 Magnetic deflection of the electron beam

- Set up the experiment as in fig. 3.
- Attach a coil to the metal ring.
- Connect the inputs of the coil to the DC power supply.
- Adjust the electron beam so that it strikes the centre of the fluorescent screen.
- Turn on the DC power supply and vary the current to the coil.

The beam is deflected perpendicularly to the direction of both the beam and the magnetic field.

- Change the polarity and alignment of the coil and the number of turns the current flows through and observe the effects.

5.3 Trace of an AC voltage over time

Additional equipment required:

1 Function generator (50 Ω , with amplifier if possible) or AC power supply.

Optional: 1 Multimeter with frequency counter (maximum voltage, at least 150 V).

- Set up the experiment as in fig. 4.
- Follow the instructions for experiment 5.1, but do not decrease the frequency, and set the coarse adjustment to the medium level. If a multimeter with frequency counter is available, connect it to the outputs of the saw-tooth generator in parallel with the deflection plates before turning on the voltage supply. (Caution: it is dangerous to touch the saw-tooth voltage outputs)
- Attach a coil to the metal ring.
- Connect the inputs of the coil to the function generator (amplified if available).
- Select a frequency between 30 and 100 Hz on the function generator.

During movement from the left to the right side, the beam is vertically deflected.

- If necessary, increase output voltage to obtain a bigger deflection.

Due to the rapid repetition, it is hard to see a waveform for the AC voltage, since recording usually does not start the same point during the period (the same phase) so that multiple phase-shifted images are therefore superimposed. This problem does not occur if the saw-tooth frequency is identical to the input signal frequency of the function generator.

- With the fine adjustment, search for a frequency at which a standing image appears, which shows a clear period of oscillation.

At which other saw-tooth frequencies does a standing image also appear?

5.4 Lissajous figures

Additional equipment required:

1 Function generator (50 Ω , with amplifier if possible), and 1 AC power supply or 2 function generators.

- Set up the experiment as in fig. 5.
- Attach a coil to the metal ring pointing inward, with the axis aligned horizontally.
- Connect the inputs (green, yellow) to the AC power supply or to the second function generator (set to a 50 Hz sinusoidal voltage). Select the amplitude so that the line appearing on the screen is approximately half the length of the screen diameter.
- With the circular magnet, adjust the line horizontally to centre it.
- Mount another coil to the metal ring pointing inward, with the axis aligned vertically.
- Connect the inputs (green, yellow) to the first function generator (set to a 50 Hz sinusoidal voltage).

An ellipse appears that changes shape at faster or slower speed, depending on how well the frequencies of the input signals match. This takes the shape of a sloped straight line twice per cycle.

- Adjust the amplitude of the first function generator so that the slope of the straight line is 45° and that a circle emerges during transition.

The simplest Lissajous figures can be observed already. The shapes depend on the frequency ratios and on the phase shift. Due to a small deviation from the exact target frequency on either of the two function generators (usually, the inaccuracy of the devices is already sufficient), the phase shift cycles automatically, and all figures for a specific frequency ratio can be observed in succession.

- Set the frequency of the first function generator to a multiple of the horizontal frequency (50 Hz).

Observe Lissajous figures for the frequency ratios 2:1, 3:1 and 4:1.

- Further Lissajous figures are created by fractional multiples of the horizontal frequency (e.g., 3:2 (75 Hz), 4:3 (66.7 Hz)).

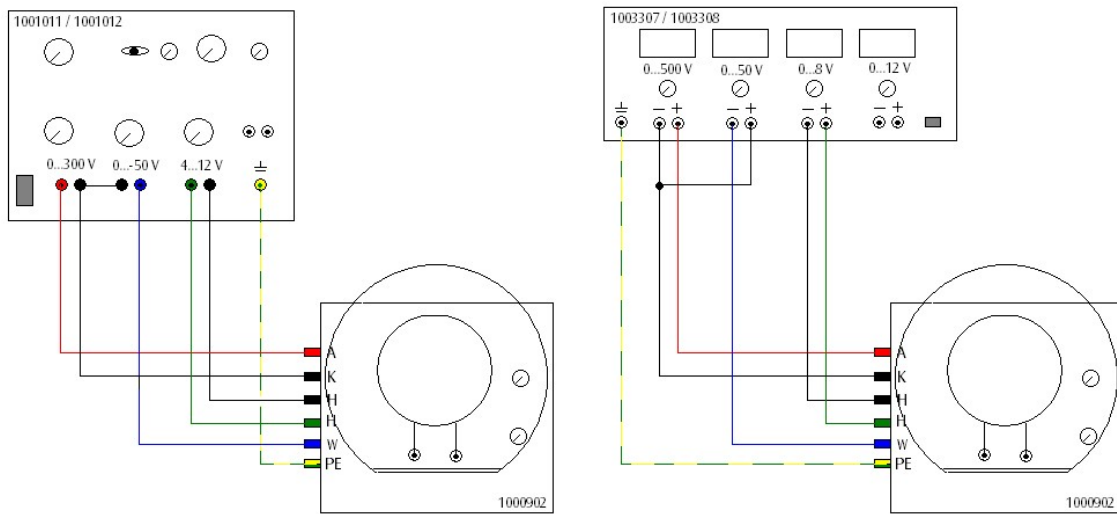


Fig.2 Electrical deflection of the electron beam (left: with power supply 1001011 / 1001012, right: with power supply 1003307 / 1003308).

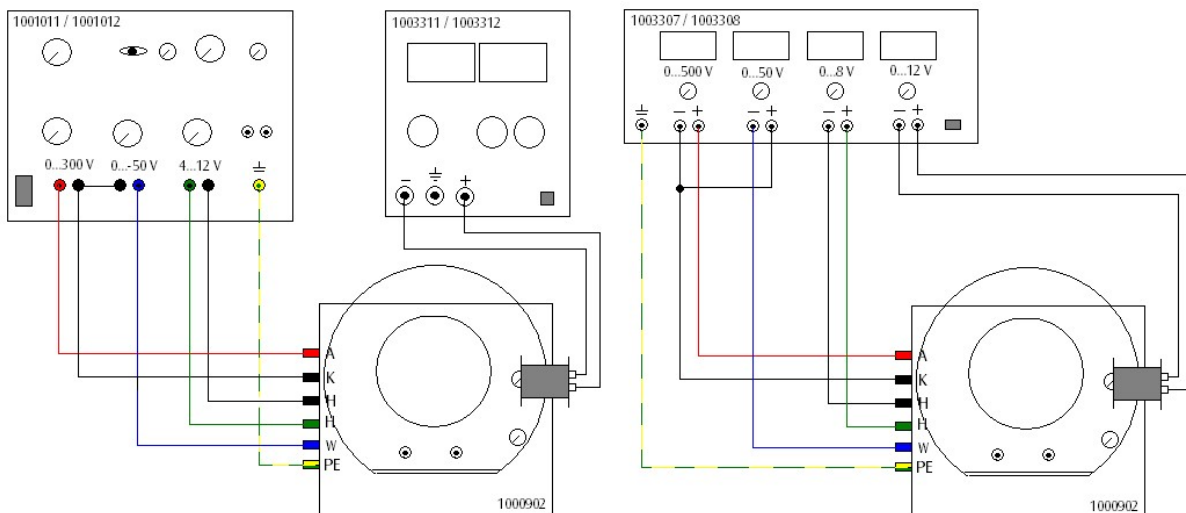


Fig.3 Magnetic deflection of the electron beam (left: with power supply 1001011 / 1001012 and power supply 1003311 / 1003312, right: with power supply 1003307 / 1003308).

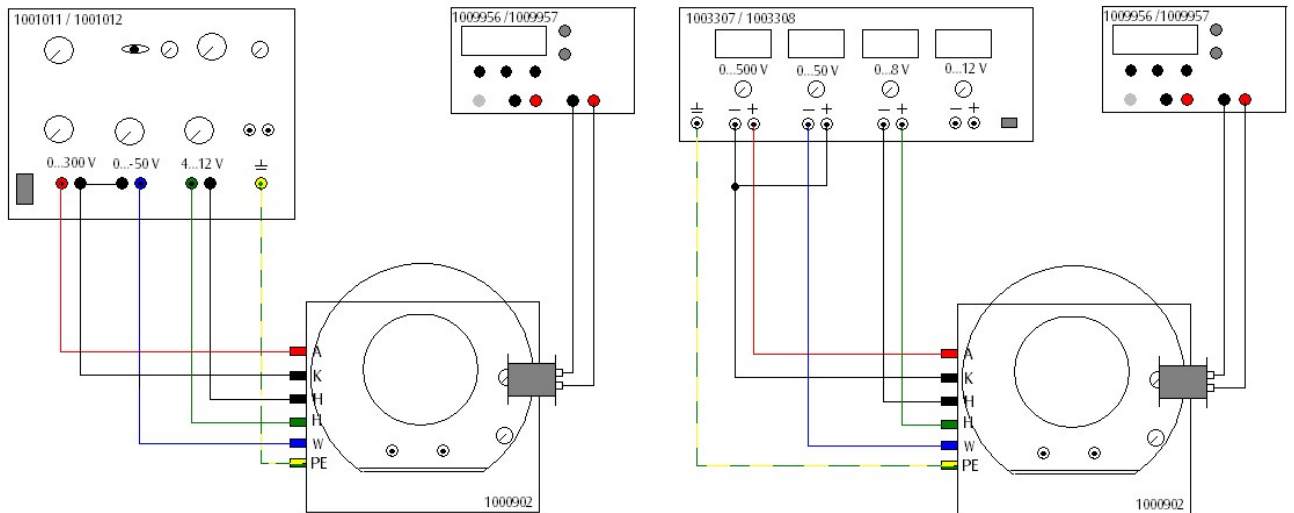


Fig.4 Trace of an AC voltage over time (left: with power supply 1001011 / 1001012 and function generator 1009956 / 1009957, right: with power supply 1003307 / 1003308 and function generator 1009956 / 1009957).

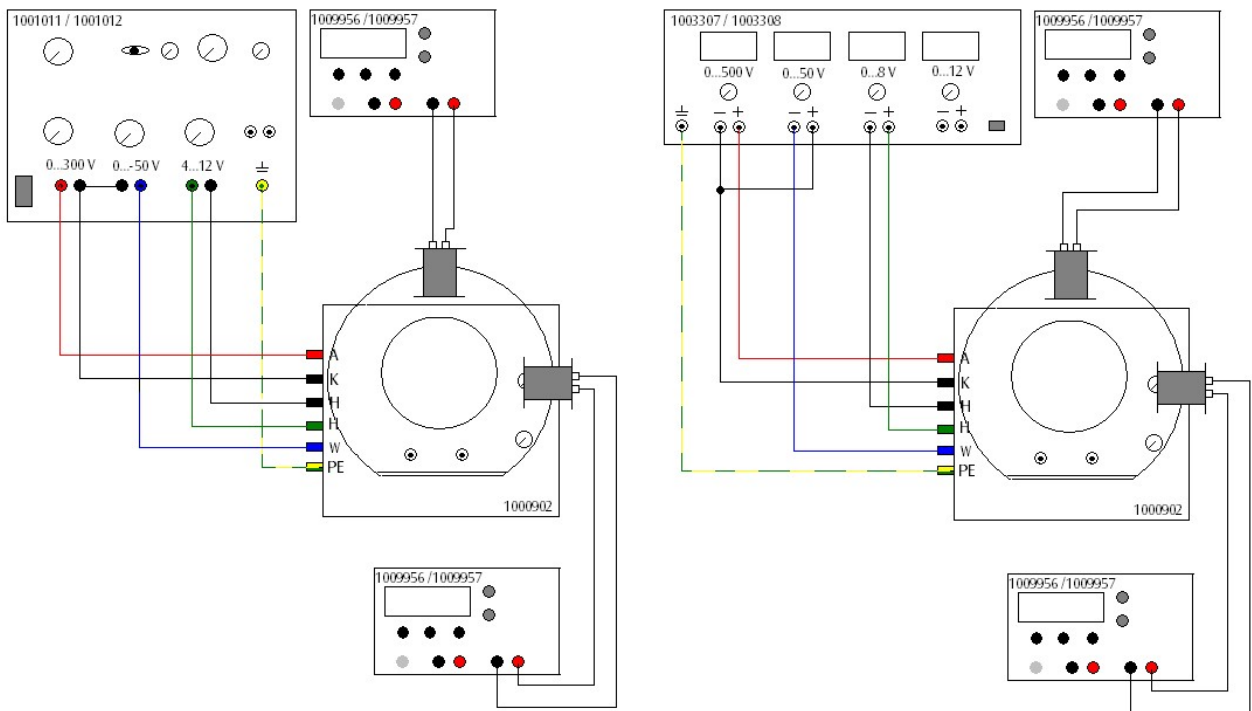
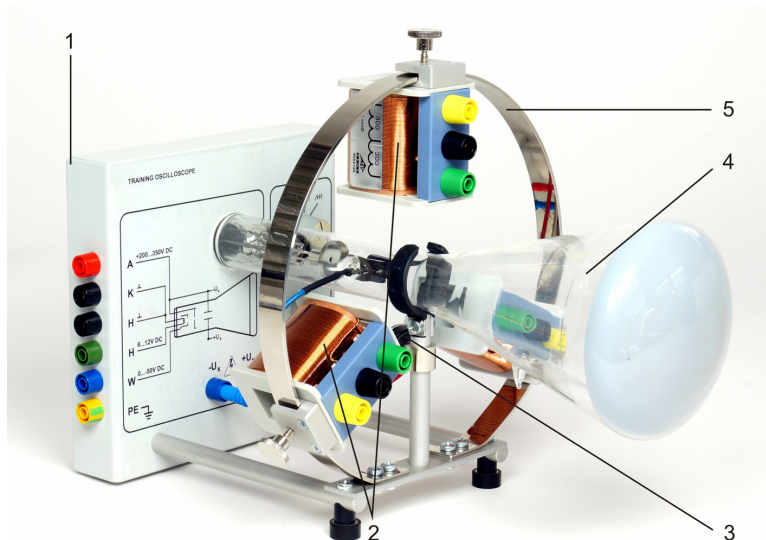


Fig.5 Generating Lissajous figures (left: with power supply 1001011 / 1001012 and 2x function generator 1009956 / 1009957, right: with power supply 1003307 / 1003308 and 2x function generator 1009956 / 1009957).

Osciloscopio didáctico 1025250

Instrucciones de uso

05/16 CW/ALF/UD



- 1 Electrónica de operación
- 2 Bobinas de desviación
- 3 Imán anular
- 4 Tubo de Braun
- 5 Anillo metálico

1. Advertencias de seguridad

El osciloscopio didáctico se activa parcialmente con tensiones superiores a los 60 V.

- El cableado se debe realizar con la alimentación de red apagada.
- Se deben utilizar cables de seguridad
- Como el tubo de vidrio está evacuado se corre el peligro de implosión.
- El tubo no se debe golpear o exponer a esfuerzos mecánicos

El funcionamiento del aparato en colegios e instituciones de formación debe estar supervisado siempre por personal especializado y responsable.

2. Descripción

Con el osciloscopio didáctico se puede demostrar la desviación de un rayo de electrones por medio de campos eléctricos y magnéticos, tal y como se aplica en un aparato de televisión o en osciloscopios de técnicas de medida. El osciloscopio se compone básicamente de un tubo de Braun, al cual se le suministra tensión por medio de enchufes de 4 mm y que está rodeado de un anillo metálico grande en el cual se pueden fijar

bobinas de desviación.

El tubo de Braun es un tubo cónico de vidrio en cuyo cuello se encuentra un cátodo incandescente a una distancia de aproximadamente cinco milímetros y un ánodo en forma de un disco con un agujero central. Los electrones que salen del cátodo son acelerados en dirección hacia el ánodo. Un parte de ellos cruza el agujero central del ánodo para formar un rayo que incide sobre una pantalla fluorescente de silicato de cinc y produce allí un destello fluorescente verde. La focalización del rayo se realiza por un lado por el cilindro de Wehnelt que rodea el cátodo, el cual se encuentra a un potencial negativo con respecto al cátodo. Por otro lado, el tubo se encuentra bajo una presión parcial de neón de aprox. 1 Pa y así se logra una concentración del rayo de electrones por choques sucesivos con los átomos de neón, lo cual al mismo tiempo lo hace visible.

Además en el tubo se encuentran dos placas de desviación paralelas al rayo, las cuales se pueden conectar al generador de dientes de sierra integrado o a una fuente de tensión externa. El generador de dientes de dientes de sierra suministra tensiones con una frecuencia variable de 3,5 hasta 650 Hz con una amplitud de 100 V con respecto al potencial del ánodo.

3. Datos técnicos

Tensión del ánodo:	200...350 V CC
Corriente del ánodo:	max. 1 mA
Tensión de caldeo:	6...12 V CC
Tensión del Wehnelt:	-50...0 V CC
Tamaño de las placas d. desv.: 12 x 20 mm ²	
Espacio entre las placas:	14 mm
Bobinas de desviación:	300 + 300 Esp. R _i = 4,2 Ω L = 6 mH
Tensión de dientes de sierra:	V _{pp} = 100 V f = 3,5..650 Hz

4. Manejo

4.0 Electrónica de operación

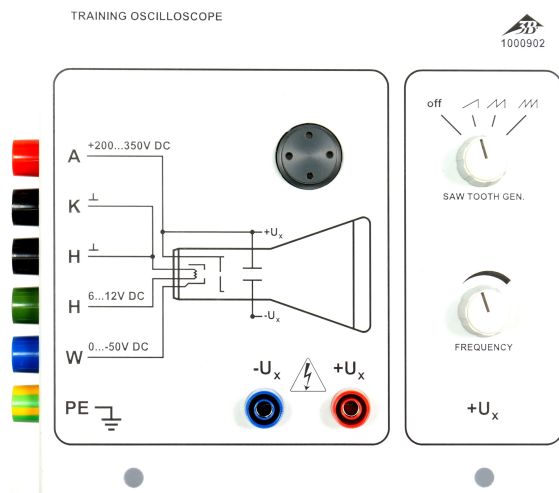


Fig. 1: Electrónica de operación.

Entradas:

A	Ánodo
K	Cátodo
H	Caldeo
W	Cilindro de Wehnelt
⊥	Masa
PE	Tierra de protección

Salidas:

-U _x	Placa de desviación izquierda
+U _x	Placa de desviación derecha

Generador de dientes de sierra:

	Frecuencia sencilla
	Frecuencia doble
	Frecuencia triple
Frecuencia:	Frecuencia de dientes de sierra

4.1 Puesta en funcionamiento

Para la alimentación de tensión del osciloscopio didáctico se requieren aparatos de tensión que suministren las siguientes tensiones:

200-350 V CC ajustable,

0-50 V CC ajustable,
6-12 V CC.

Para ello es especialmente apropiada la fuente de alimentación de red 1001011 / 1001012 y 1003307 / 1003308, la cual pone a disposición todas estas tensiones necesarias.

Observación:

El osciloscopio didáctico funciona, dependiendo del tubo incorporado, por regla general, con tensiones de ánodo de hasta aprox. 300 V. Sin embargo, la tensión de ánodo no debe sobrepasar los 350 V.

- Se desconecta la fuente de alimentación.
- Se conectan las entradas del osciloscopio didáctico con las salidas de la fuente de alimentación de red, de acuerdo con las tensiones indicadas.

Se ajustan los reguladores de tensión de tal forma que no se sobrepasen los valores límites.

- Se conecta la fuente de alimentación de red.

Después de 10 a 30 segundos se observa en la pantalla un punto verde, el cual muestra el rayo de electrones incidentes. Para que el tubo sea lo más sencillo y claro posible para los objetivos didácticos, se ha desistido de colocar en el tubo algunas instalaciones adicionales para la aceleración o focalización ulteriores del rayo. Por esta razón no se puede focalizar el rayo tan nítidamente como se hace en los osciloscopios de técnicas de medidas.

- Se varía la tensión del cilindro de Wehnelt hasta que el punto tenga su mínima dimensión.

El rayo de electrones se puede observar en el tubo como un hilo rojo, pero debido a la baja luminosidad sólo se puede observar en un recinto con luz atenuada o a oscuras.

4.2 Instalaciones de desviación

4.2.1 Desviación eléctrica

Por medio de las placas de desviación dentro del tubo se puede desviar el rayo de electrones horizontalmente, aplicando una tensión de max. 100 V. Para la mayoría de las aplicaciones se toma esta tensión del generador de dientes de sierra. El rayo se mueve entonces desde la izquierda hacia la derecha y salta luego a su posición inicial y repite este movimiento con una frecuencia ajustable. En esta forma es posible resolver en el tiempo y hacer visibles desviaciones verticales, por ejemplo por medio de un campo magnético alternante.

4.2.2 Desviación magnética

Se fijan bobinas en el anillo metálico que rodea el cuello del tubo. Entre dos casquillos de conexión

vecinos se tienen respectivamente 300 espiras. Si se cablean ambos casquillos externos, la corriente fluye por 600 espiras. Según la regla de la mano derecha, el rayo de electrones será desviado perpendicularmente a la dirección del campo magnético y a la dirección del rayo de electrones. Cuando las bobinas se montan orientadas hacia adentro, ya se puede notar el efecto de corrientes en la gama de miliamperios.

4.2.3 Ajuste del rayo

En el soporte central del tubo se encuentra un imán anular movable, que se puede fijar por medio de un tornillo. Éste sirve para ajustar el punto de incidencia de los electrones sobre la pantalla fluorescente teniendo la desviación desconectada

4.3 Generador de dientes de sierra

Las salidas del generador se encuentran por debajo del casquillo portatubo y llevan los nombres $-U_x$ resp. $+U_x$.

La tensión de dientes de sierra (frecuentemente llamada "Rampa") es una tensión periódica variable linealmente en el tiempo en subida o en bajada y que retorna en un salto a su valor inicial.

¡Cuidado!: La tensión de dientes de sierra tiene como referencia la tensión de ánodo de +250 V.

Se tienen dos botones ajustes para la frecuencia, con el botón superior se hace el ajuste burdo y con el inferior el ajuste fino.

5. Ejemplos de experimentos

5.1 Desviación eléctrica de los electrones

- Realice el cableado de acuerdo con la fig. 2.
- Se desconecta la alimentación de tensión del osciloscopio didáctico
- Se conectan las placas de desviación con la salida del generador de dientes de sierra.
- Se ajusta el rayo de electrones al lado izquierdo de la pantalla fluorescente (aprox. 1 cm del extremo).
- Se fija el ajuste burdo del generador en el nivel más bajo (segunda posición a la izquierda)..
- Se conecta la fuente de alimentación.

El punto luminoso verde aparece en la pantalla después de 10 a 30 segundos. El punto se mueve de izquierda a derecha.

- Con el ajuste fino se reduce la frecuencia hasta que se pueda ver claramente el movimiento del punto en la pantalla.

5.2 Desviación magnética del rayo de electrones

- Realice el cableado de acuerdo con la fig. 3.
- Se fija una bobina en el anillo metálico.
- Se conectan los contactos de la bobina con la fuente de alimentación de CC.
- Se ajusta el rayo de electrones en el centro de la pantalla fluorescente..
- Se conecta la fuente de alimentación de CC y se varía la corriente de la bobina.

El rayo se desvía perpendicularmente a la dirección de vuelo de los electrones y a la del campo magnético.

- Se cambian, la polaridad, la orientación y el número de espiras de la bobina y se observan los efectos en la pantalla.

5.3 Resolución en el tiempo de una tensión alterna

Aparatos necesarios adicionalmente:

1 Generador de funciones (50 Ω , en lo posible con amplificador) o una fuente de alimentación de CA,

Opcional: 1 Multímetro con medidor de frecuencias (Tensión mínima. 150 V).

- Realice el cableado de acuerdo con la fig. 4.
- Se siguen las indicaciones del punto 5.1, pero sin reducir la frecuencia; se fija el ajuste burdo en la posición media. Si se tiene a disposición un multímetro con frecuencímetro, antes de conectar la fuente de tensión, se conecta en paralelo con las placas de desviación a la salida del generador de dientes de sierra. (¡Cuidado!: La tensión del generador de dientes de sierra es peligrosa al contacto directo)
- Se fija una bobina en el anillo metálico.
- Se conectan los contactos de la bobina con el generador de funciones (si se tiene un amplificador, se conecta con éste)
- En el generador de funciones se ajusta una frecuencia entre 30 y 100 Hz.

El rayo se desvía hacia arriba durante el movimiento de izquierda a derecha

- Si es necesario se aumenta la tensión de salida para obtener una desviación mayor.

Debido a la rápida repetición no se puede reconocer bien la tensión alternante, porque el registro en la pantalla por lo general no se repite en un punto fijo dentro de un período (o sea en una fase fija), y por ello se sobreponen varios cuadros desplazados entre sí. Este problema aparece cuando la frecuencia del generador de dientes de sierra no concuerda con la frecuencia de la señal del generador funciones a la entrada.

- Se busca con el ajuste fino de la frecuencia hasta encontrar un cuadro fijo de un período de oscilación.

¿Con qué frecuencias además se observa en pantalla un cuadro fijo?

5.4 Figuras de Lissajous

Aparatos necesarios adicionalmente:

1 Generador de funciones (50 Ω, en lo posible con amplificador) o una fuente de alimentación de CA o 2 generadores de funciones.

- Realice el cableado de acuerdo con la fig. 5.
- Una bobina se fija en el anillo metálico en un eje horizontal orientada hacia adentro.
- Las entradas de la bobina se conectan con la fuente de alimentación de CA o con el segundo generador de funciones (ajustado a una tensión senoidal de 50 Hz)(verde, amarillo). La amplitud se fija de tal forma que la línea que aparece en la pantalla sea la mitad del diámetro de la pantalla.
- Con el imán anular se orienta la línea en la horizontal.
- Una bobina adicional se monta hacia adentro en el anillo metálico con su eje orientado en la vertical.
- Las entradas de la bobina (verde, amarillo) se conectan con el primer generador de funciones (ajustado a una tensión senoidal de

50 Hz).

En la pantalla aparece una elipse que se deforma rápida o lentamente dependiendo de si las señales de entrada concuerda bien entre sí. Así por cada ciclo aparece dos veces una línea inclinada.

- La amplitud del primer generador de funciones se ajusta de tal forma que la inclinación de la línea sea de 45° y que durante la transición se observe un círculo.

Así ya se podrán observar las figuras de Lissajous más sencillas. Las formas de las mismas dependen de las relaciones de las frecuencias y de los desfases entre las ondas. Generado por una leve desviación de la frecuencia con respecto a la frecuencia nominal de ambos generadores (por lo general es suficiente la falta de precisión de los aparatos) se observa un desfase que se mueve automáticamente y hace que se observen todas las figuras correspondientes a una determinada relación de frecuencias.

- Se ajusta la frecuencia del primer generador de frecuencia en un múltiplo de la frecuencia horizontal (50 Hz).

Se deben observar las figuras de Lissajous para las relaciones de frecuencia 2:1, 3:1, 4:1....

- Otras figuras de Lissajous se observan con fracciones de enteros de la frecuencia horizontal (p. ej.: 3:2 (75 Hz), 4:3 (66,7 Hz).

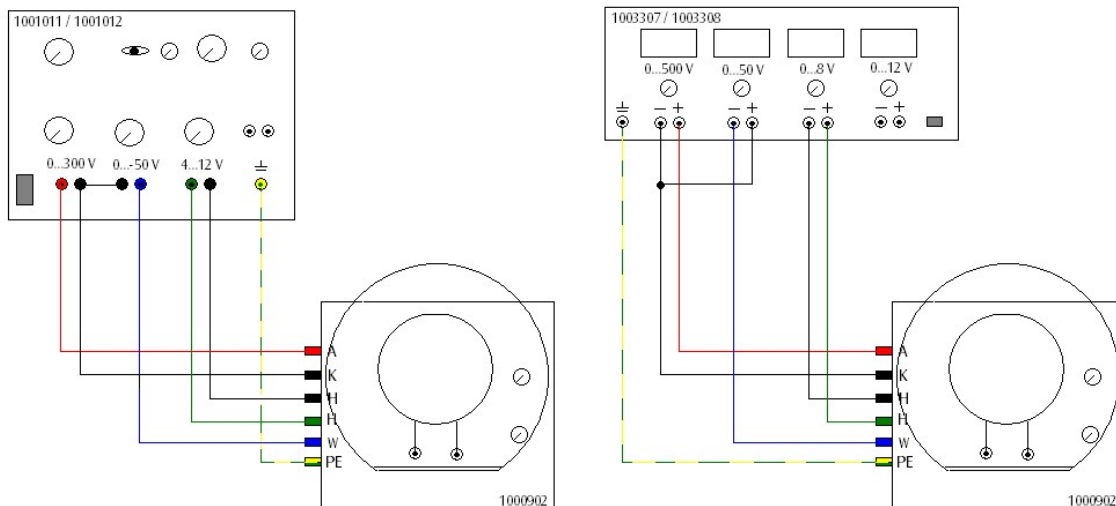


Fig.2 Desviación eléctrica de los electrones (izquierda: con fuente de alimentación 1001011 / 1001012, derecha: con fuente de alimentación 1003307 / 1003308).

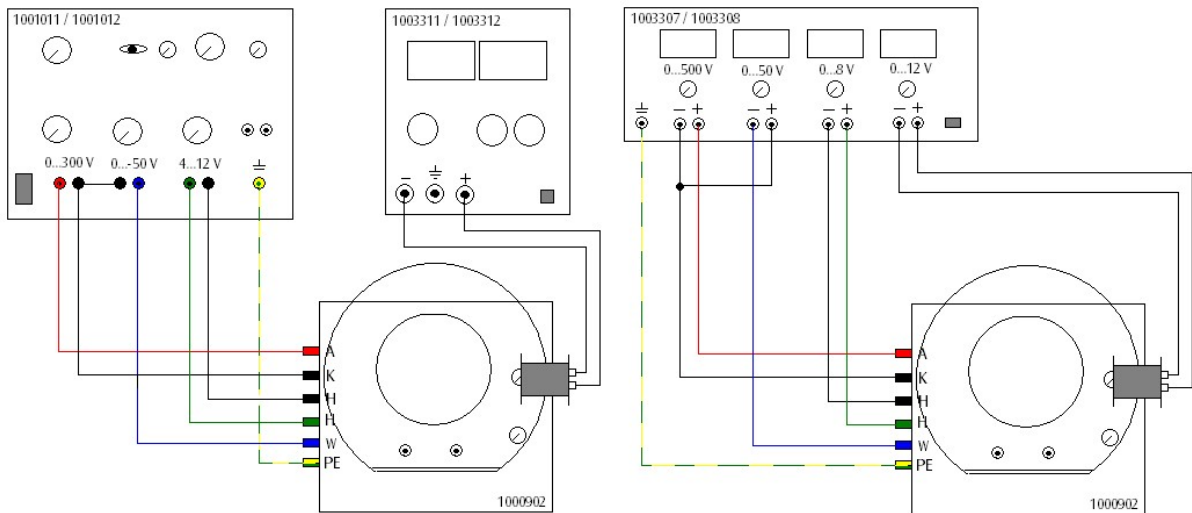


Fig.3 Desviación magnética del rayo de electrones (izquierda: con fuente de alimentación 1001011 / 1001012 y fuente de alimentación 1003311 / 1003312, derecha: con fuente de alimentación 1003307 / 1003308).

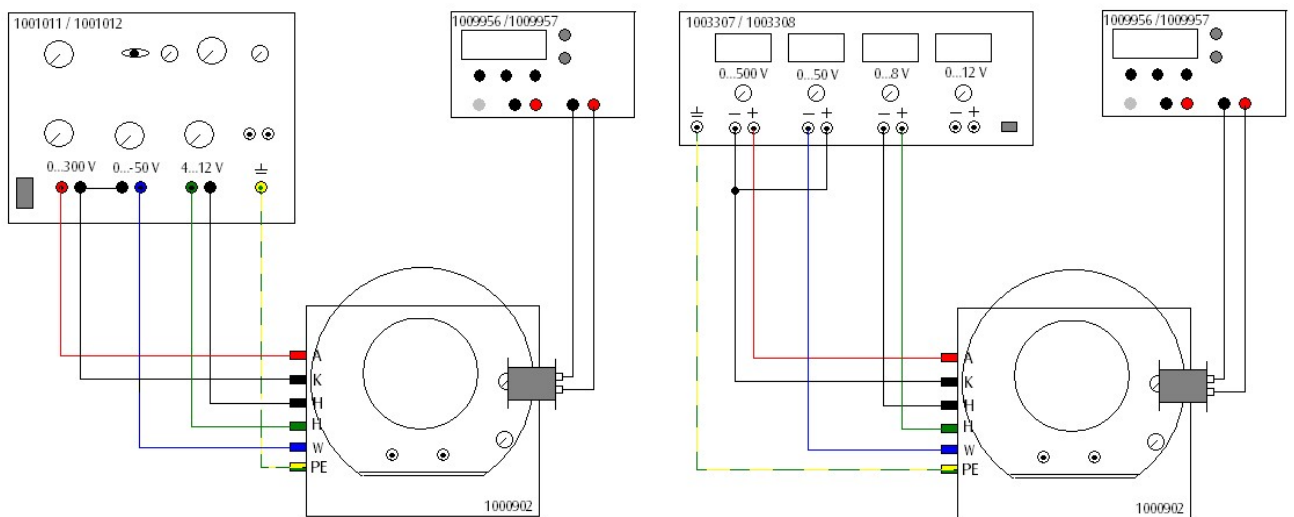


Fig.4 Resolución en el tiempo de una tensión alterna (izquierda: con fuente de alimentación 1001011 / 1001012 y generador de funciones 1009956 / 1009957, derecha: con fuente de alimentación 1003307 / 1003308 y generador de funciones 1009956 / 1009957).

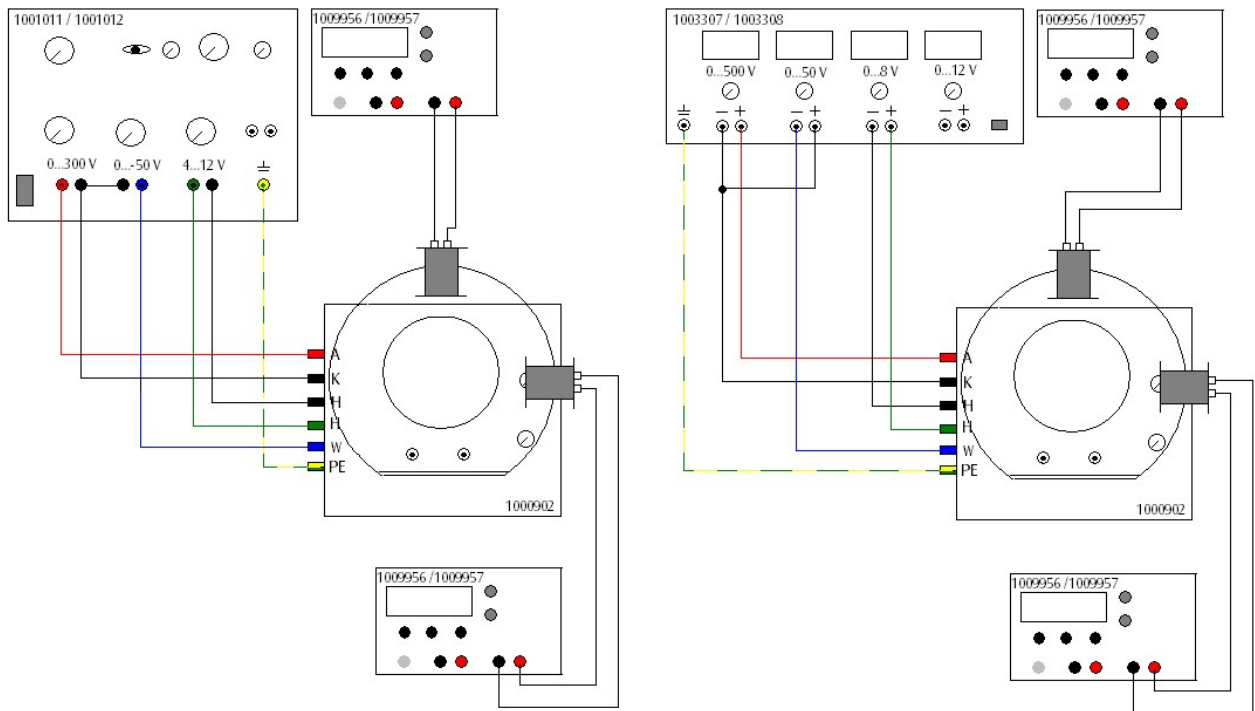
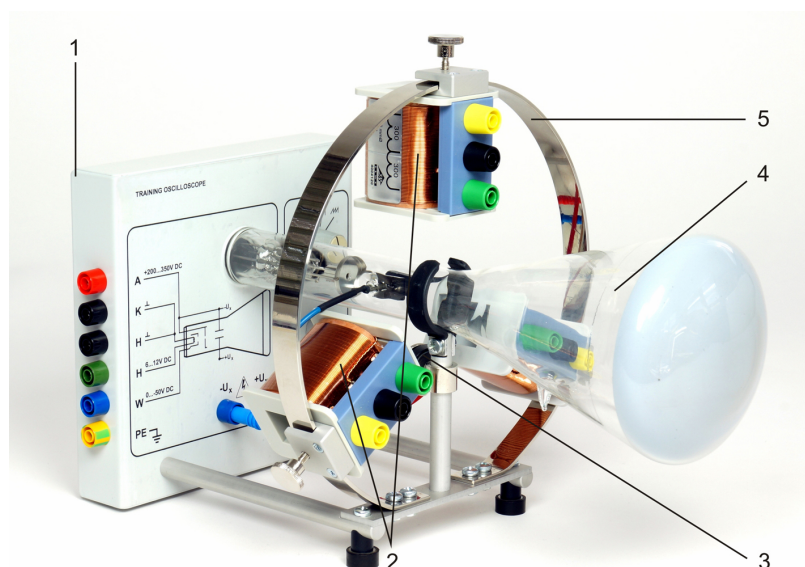


Fig.5 Figuras de Lissajous (izquierda: con fuente de alimentación 1001011 / 1001012 y 2x generador de funciones 1009956 / 1009957, derecha: con fuente de alimentación 1003307 / 1003308 y 2x generador de funciones 1009956 / 1009957).

Oscilloscope didactique 1025250

Instructions d'utilisation

05/16 CW/ALF/UD



- 1 Module de commande électronique
- 2 Bobines de déviation
- 3 Aimant torique
- 4 Tube de Braun
- 5 Anneau métallique

1. Consignes de sécurité

L'oscilloscope didactique est alimenté avec des tensions dépassant parfois 60 V.

- Ne procédez à des câblages que lorsque l'alimentation est éteinte.
- Utilisez des câbles de sécurité.

Comme le tube en verre est sous vide, il y a risque d'implosion.

- N'exposez pas le tube à des chocs ni à des charges mécaniques.

Dans les écoles et les établissements de formation, l'utilisation de l'appareil doit être surveillée par un personnel formé.

2. Description

L'oscilloscope didactique permet de démontrer la déviation d'un faisceau électronique par des champs électriques et magnétiques, tels qu'ils apparaissent dans des téléviseurs ou des oscilloscopes de mesure. Il est constitué essentiellement d'un tube de Braun, qui est alimenté en

tension via des fiches de 4 mm et entouré d'un anneau auquel peuvent être fixées des bobines de déviation.

Le tube de Braun est un piston en verre sous vide dont le col présente une cathode incandescente et, à environ un demi-centimètre d'écart, une anode sous forme de disque troué. Les électrons qui quittent la cathode sont accélérés vers l'anode, une partie traversant le trou et formant un faisceau qui apparaît sur l'écran en silicate de zinc pour y engendrer une fluorescence verte. D'une part, le faisceau est focalisé par le cylindre Wehnelt qui entoure la cathode et qui se situe sur un potentiel négatif. D'autre part, le tube est rempli de néon sous une pression de env. 1 Pa, qui focalise le faisceau par la constriction du gaz et le rend en même temps visible.

On trouve également deux plaques de déviation parallèles au faisceau qui peuvent être reliées au générateur d'impulsions en dents de scie intégré ou à une source de tension externe. Le générateur fournit des tensions en dents de scie dans une gamme de fréquence de 3,5 à 650 Hz avec une amplitude de 100 V par rapport au potentiel anodique.

3. Caractéristiques techniques

Tension anodique :	200...350 V CC
Courant anodique :	max. 1 mA
Tension de chauffage :	6...12 V CC
Tension Wehnelt :	-50...0 V CC
Taille des plaques :	12 x 20 mm ²
Écart des plaques :	14 mm
Bobines de déviation :	300 + 300 spires $R_i = 4,2 \Omega$, $L = 6 \text{ mH}$
Tensions en dents de scie :	$V_{pp} = 100 \text{ V}$ $f = 3,5..650 \text{ Hz}$

4. Manipulation

4.0 Module de commande électronique

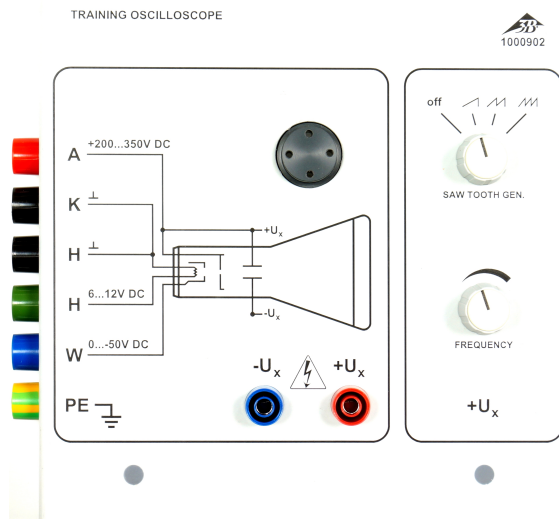


Fig. 1 : Module de commande électronique

Entrées :

A	Anode
K	Cathode
H	Chauffage
W	Cylindre de Wehnelt
⊥	Masse
PE	Terre de protection

Sorties :

$-U_x$	Électrode de déviation gauche
$+U_x$	Électrode de déviation droite

Générateur de dents de scie :

	fréquence simple
	double fréquence
	triple fréquence
Fréquence	fréquence en dents de scie

4.1 Mise en service

Pour alimenter l'oscilloscope, vous nécessitez des alimentations fournissant les tensions suivantes :

- 200-350 V CC réglable,
- 0-50 V CC réglable,
- 6-12 V CC.

Fournissant toutes ces tensions, l'alimentation 1001011 / 1001012 et 1003307 / 1003308 convient particulièrement bien.

Remarque :

L'oscilloscope didactique fonctionne indépendamment des tubes intégrés, en règle générale à des tensions d'anode d'environ 300 V maxi. La tension d'anode ne doit pas dépasser 350 V.

- Mettez l'alimentation hors service.
- Reliez les entrées de l'oscilloscope avec les sorties de l'alimentation conformément aux tensions indiquées.
- Réglez le régulateur de tension de sorte que les valeurs limites ne soient pas dépassées.
- Mettez l'alimentation en service.

Après 10 à 30 s, une tâche verte, qui marque le faisceau électronique, apparaît à l'écran. Pour que le tube reste simple et clair pour des fins didactiques, nous avons renoncé à installer un dispositif supplémentaire sur la post-accélération et la focalisation du faisceau. C'est la raison pour laquelle le faisceau ne peut pas être aussi net que sur des oscilloscopes techniques.

- Variez la tension Wehnelt, jusqu'à ce que la tâche atteigne son extension minimale.

Le faisceau apparaît également dans le tube sous la forme d'un fil rouge, mais, en raison de sa faible luminosité, visible seulement dans une pièce assombrie.

4.2 Dispositifs de déviation

4.2.1 Déviation électrique

Les plaques de déviation se trouvant dans le tube permettent une déviation horizontale du faisceau électronique par l'application d'une tension maximale de 100 V. Pour la plupart des applications, cette tension est prélevée du générateur en dents de scie. Le faisceau se déplace alors de gauche à droite, pour revenir à son point de départ, opération qui se répète à une fréquence réglable. Cette procédure permet de suivre la chronologie des déviations verticales périodiques, par exemple dues à un champ magnétique alternatif.

4.2.2 Déviation magnétique

Les bobines sont fixées à l'anneau métallique qui entoure le col du tube. Entre deux douilles de connexion voisines se trouvent à chaque fois 300 spires. Lorsque les deux douilles extérieures sont

activées, le courant traverse les 600 spires. Le faisceau est dévié sur la droite perpendiculairement au champ magnétique et au sens du déplacement. Si les bobines sont orientées vers l'intérieur, de faibles courants de quelques milliam-pères se font déjà ressentir.

4.2.3 Ajustage du faisceau

Sur le porte-tube central, un aimant torique mobile peut être réglé à l'aide d'une vis. Lorsque la déviation est désactivée, il permet d'ajuster le faisceau sur le point désiré de l'écran.

4.3 Générateur d'impulsions en dents de scie

Les sorties du générateur se trouvent sous le point de fixation arrière du tube ($-U_x$ et $+U_x$).

Une tension en dents de scie (souvent appelée « rampe ») est une tension périodique modifiée dans le temps qui monte ou qui descend d'une valeur initiale à une valeur finale en suivant une courbe linéaire, puis qui repasse à son point de départ.

Prudence : La tension en dents de scie se réfère au potentiel anodique de +250 V.

Le régulateur supérieur permet d'allumer le générateur et de procéder à un réglage approximatif de la fréquence. Le réglage fin a lieu avec le régulateur inférieur.

5. Exemples d'expériences

5.1 Déviation électrique du faisceau électronique

- Procédez au câblage du tube comme le montre la figure 2.
- Désactivez l'alimentation tension de l'oscilloscope.
- Reliez les plaques de déviation à la sortie du générateur.
- Ajustez le faisceau au bord gauche (env. 1 cm d'écart) de l'écran.
- Réglez la fréquence approximative au niveau le plus faible (deuxième position depuis la gauche).
- Mettez l'alimentation tension en service.

Après 10-30 s, le point lumineux apparaît à l'écran. Il se déplace périodiquement de gauche à droite.

- Le cas échéant, avec le réglage fin, réduisez la fréquence de manière à ce que le déplacement du point puisse être suivi clairement.

5.2 Déviation magnétique du faisceau électronique

- Procédez au câblage du tube comme le montre la figure 3.
- Fixez une bobine à l'anneau métallique.
- Reliez les connexions de la bobine à l'alimentation CC.
- Ajustez le faisceau au centre de l'écran.
- Mettez l'alimentation CC en service et variez le courant de la bobine.

Le faisceau est dévié perpendiculairement au champ magnétique et au sens du déplacement.

- Modifiez la polarité, le sens de la bobine et le nombre de spires traversées et observez la déviation.

5.3 Résolution dans le temps d'une tension alternative

Matériel supplémentaire requis :

1 générateur de fonctions (50 Ω , si possible avec amplificateur) ou alimentation CA,

en option : 1 multimètre avec fréquencemètre (tension maximale min. 150 V).

- Procédez au câblage du tube comme le montre la figure 4.
- Suivez les instructions de l'expérience 5.1, mais ne réduisez pas la fréquence. Réglez la fréquence approximative au niveau moyen. Si vous disposez d'un multimètre comptant les fréquences, branchez-le avant la mise en service de l'alimentation tension en parallèle aux plaques de déviation aux sorties du générateur d'impulsions en dents de scie. (Prudence : la tension en dents de scie est dangereuse au contact.)
- Fixez une bobine à l'anneau métallique.
- Reliez la bobine au générateur de fonctions (si possible amplifié).
- Réglez le générateur de fréquence entre 30 et 100 Hz.

Pendant son déplacement de gauche à droite, le faisceau est dévié verticalement.

- Le cas échéant, augmentez la tension de sortie pour obtenir une déviation plus forte.

Par la grande vitesse de répétition, la forme de la tension alternative n'est guère visible, car généralement l'enregistrement ne commence pas à un point fixe de la période (en cas de phase fixe) et, de ce fait, plusieurs images déplacées se superposent. Ce problème n'apparaît pas lorsque la fréquence en dents de scie correspond à celle du signal d'entrée provenant du générateur de fonctions.

- À l'aide du réglage fin, recherchez la fréquence à laquelle apparaît une image appa-

remment stable qui présente une période d'oscillation.

À quelles fréquences en dents de scie apparaît également une image stable ?

5.4 Figures de Lissajous

Matériel supplémentaire requis :

1 générateur de fonctions (50 Ω , si possible avec amplificateur) et 1 alimentation CA ou 2 générateurs de fonctions.

- Procédez au câblage du tube comme le montre la figure 5.
- Sur l'anneau métallique, montez une bobine orientée vers l'intérieur dans un axe horizontal.
- Reliez les entrées (vert, jaune) à l'alimentation CA ou au second générateur de fonctions (réglé à une tension sinusoïdale de 50 Hz). Sélectionnez l'amplitude de manière à ce que le trait apparaissant à l'écran soit environ deux fois moins long que le diamètre de l'écran.
- Avec l'aimant torique, ajustez le trait au centre et horizontalement.
- Sur l'anneau métallique, montez une autre bobine orientée vers l'intérieur dans un axe vertical.
- Reliez les entrées (vert, jaune) au premier générateur de fonctions (réglé à une tension sinusoïdale de 50 Hz).

Il apparaît une ellipse qui, selon la correspondance entre les fréquences et les signaux d'entrée, se déforme lentement ou rapidement. À chaque cycle, elle prend deux fois la forme d'une droite inclinée.

- Adaptez l'amplitude du premier générateur de fonctions de sorte que l'inclinaison de la droite s'élève à 45° et qu'un cercle se forme pendant la transition.

On peut déjà observer les figures de Lissajous les plus simples. Les formes dépendent du rapport entre les fréquences et le déphasage. Si un faible écart avec la fréquence de consigne exacte apparaît sur l'un des deux générateurs (en général, l'imprécision des appareils suffit déjà), le déphasage automatique permet d'observer successivement toutes les figures d'un rapport de fréquence.

- Réglez la fréquence du premier générateur de fonctions à un multiple de la fréquence horizontale (50 Hz).

On peut observer les figures de Lissajous des rapports de fréquence 2:1, 3:1, 4:1, etc.

- D'autres figures de Lissajous apparaissent avec des multiples fractionnés de la fréquence horizontale (par ex. 3:2 [75 Hz], 4:3 [66,7 Hz]).

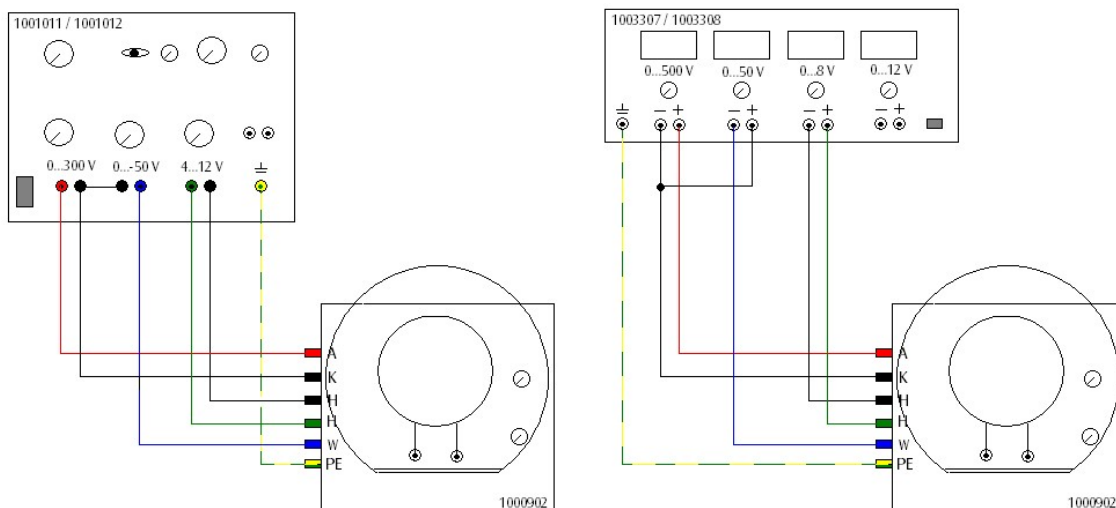


Fig.2 Déviation électrique du faisceau électronique (à gauche : avec alimentation 1001011 / 1001012, à droite : avec alimentation 1003307 / 1003308).

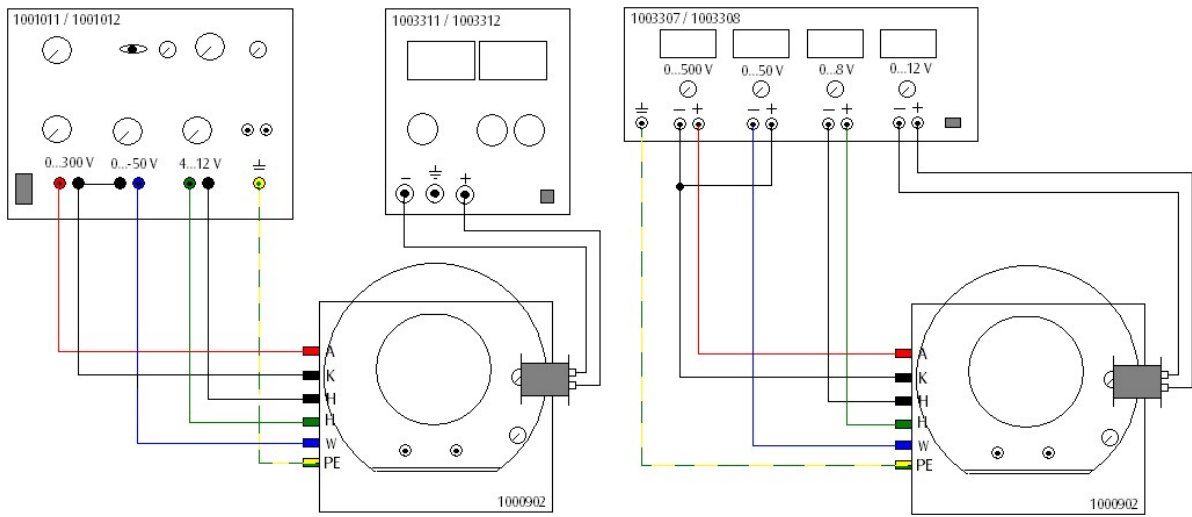


Fig.3 Déviation magnétique du faisceau électronique (à gauche : avec alimentation 1001011 / 1001012 et alimentation 1003311 / 1003312, à droite : avec alimentation 1003307 / 1003308).

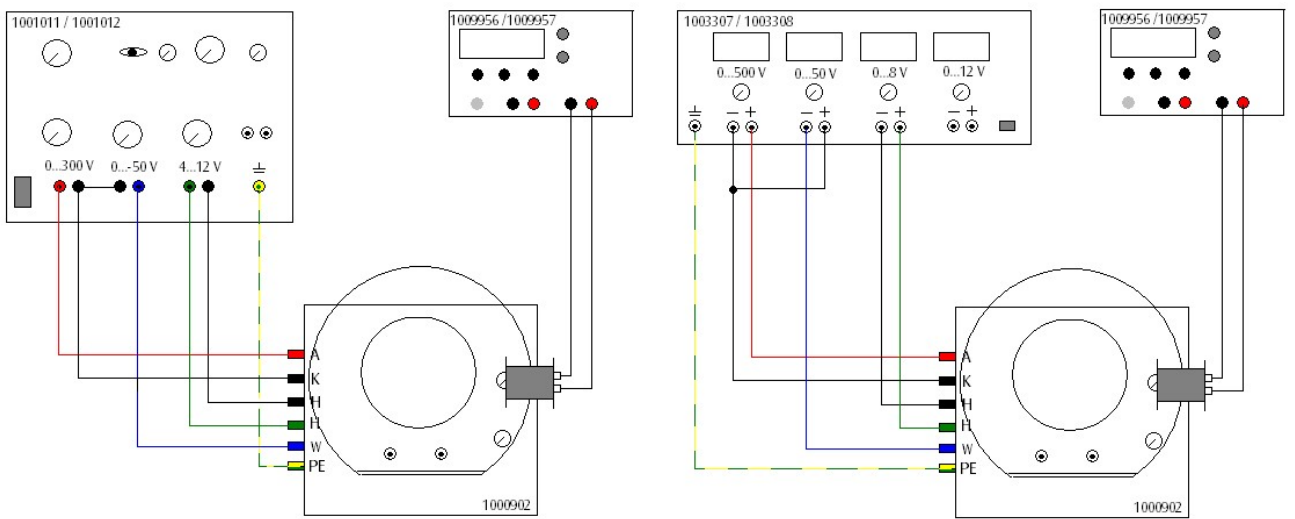


Fig.4 Résolution dans le temps d'une tension alternative (à gauche : avec alimentation 1001011 / 1001012 et générateur de fonctions 1009956 / 1009957, à droite : avec alimentation 1003307 / 1003308 et générateur de fonctions 1009956 / 1009957).

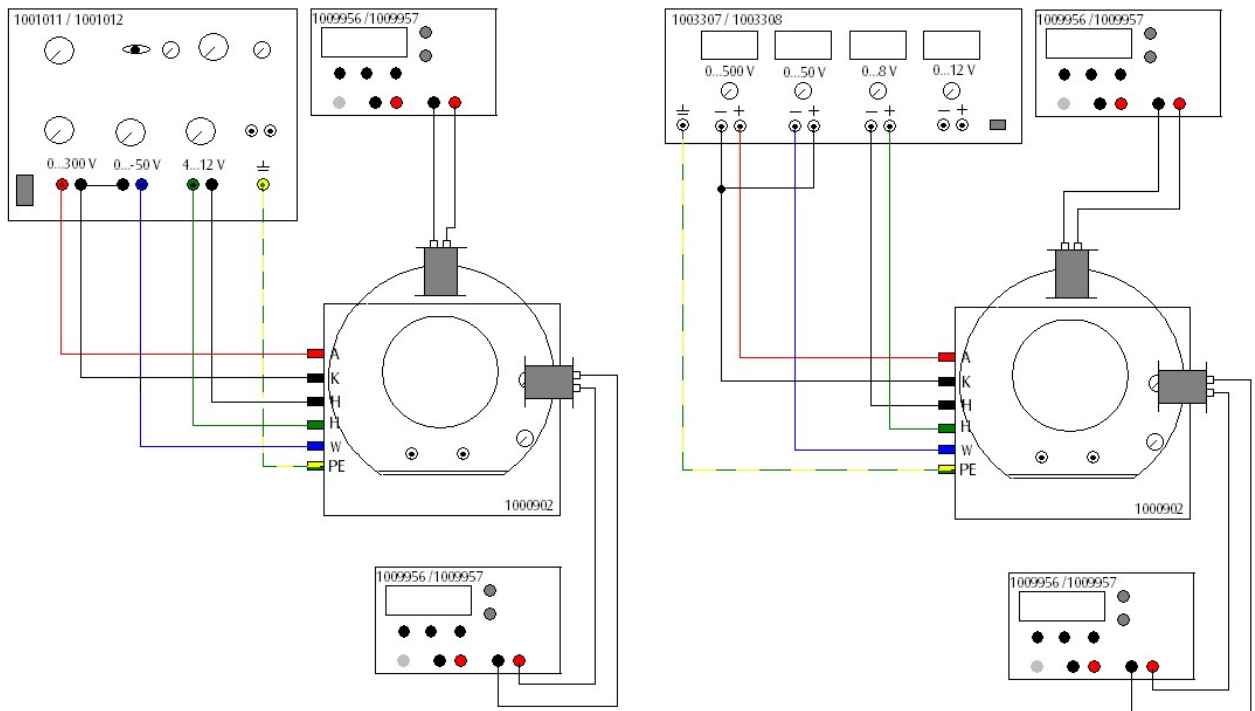
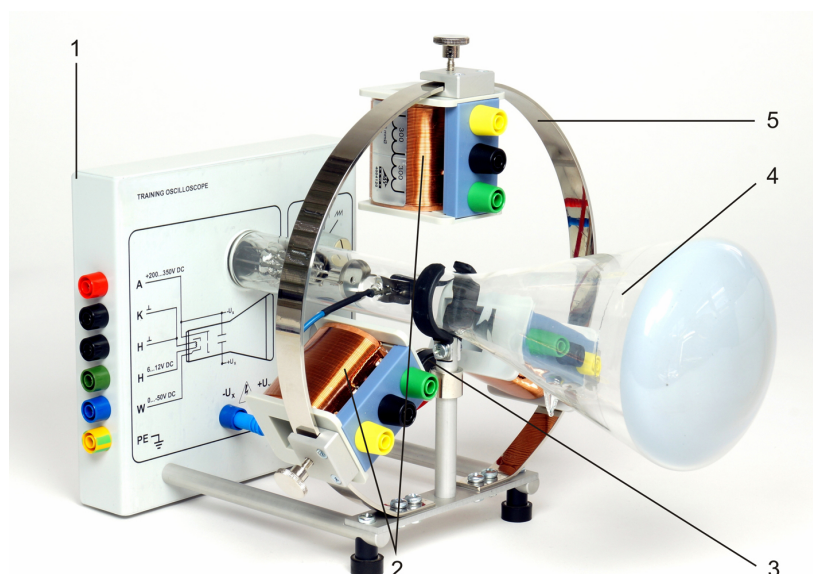


Fig.5 Figures de Lissajous (à gauche : avec alimentation 1001011 / 1001012 et 2x générateur de fonctions 1009956 / 1009957, à droite : avec alimentation 1003307 / 1003308 et 2x générateur de fonctions 1009956 / 1009957).

Oscilloscopio didattico 1025250

Istruzioni per l'uso

05/16 CW/ALF/UD



- 1 Elettronica di funzionamento
- 2 Bobine di deflessione
- 3 Magnete ad anello
- 4 Tubo a raggi catodici
- 5 Anello metallico

1. Norme di sicurezza

L'oscilloscopio didattico viene utilizzato in parte con tensioni superiori a 60 V.

- Eseguire il cablaggio solo con alimentatore spento.
- Utilizzare i cavi di sicurezza.

Poiché il tubo di vetro è sotto vuoto, sussiste il pericolo di implosione.

- Non esporre i tubi a urti e sollecitazioni meccaniche.

Nelle scuole e negli istituti di formazione l'utilizzo dell'apparecchio deve essere controllato responsabilmente da personale addestrato.

2. Descrizione

Con l'oscilloscopio didattico è possibile dimostrare la deflessione di un fascio di elettroni in campi elettrici e magnetici come viene applicata nei televisori o negli oscilloscopi per la tecnica di misurazione. L'oscilloscopio è costituito essenzialmente da un tubo a raggi catodici che viene alimentato attraverso connettore da 4 mm

ed è circondato da un anello a cui possono essere fissate bobine di deflessione.

Il tubo a raggi catodici è un'ampolla di vetro sotto vuoto nel cui collo si trovano a distanza di circa mezzo centimetro un catodo incandescente e un anodo sottoforma di disco forato. Gli elettroni provenienti dal catodo vengono accelerati verso l'anodo e una parte attraversa il foro formando un fascio che appare sullo schermo fluorescente di silicato di zinco e provoca una fluorescenza verde. Il fascio può essere messo a fuoco da un lato mediante il cilindro di Wehnelt che circonda il catodo e rispetto a questo ha potenziale negativo. Dall'altro lato il tubo viene riempito con neon ad una pressione di ca.1 Pa che lega il fascio mediante la costrizione a gas e contemporaneamente lo rende visibile.

Inoltre sono presenti nel tubo due piastre di deflessione orientate parallelamente al fascio e poste una di fronte all'altra, che possono essere collegate al generatore a dente di sega integrato o ad una sorgente di tensione esterna. Il generatore fornisce tensioni a dente di sega nel campo di frequenza compreso tra 3,5 e 650 Hz con un'ampiezza di 100 V riferita al potenziale anodico.

3. Dati tecnici

Tensione anodica:	200...350 V CC
Corrente anodica:	max. 1 mA
Tensione di riscaldamento:	6...12 V CC
Tensione di Wehnelt:	-50...0 V CC
Dimensioni piastre di deflessione:	12 x 20 mm ²
Distanza piastre:	14 mm
Bobine di deflessione:	300 + 300 spire $R_i = 4,2 \Omega$, $L = 6 \text{ mH}$
Tensioni a dente di sega:	$V_{pp} = 100 \text{ V}$ $f = 3,5..650 \text{ Hz}$

4. Comandi

4.0 Elettronica di funzionamento

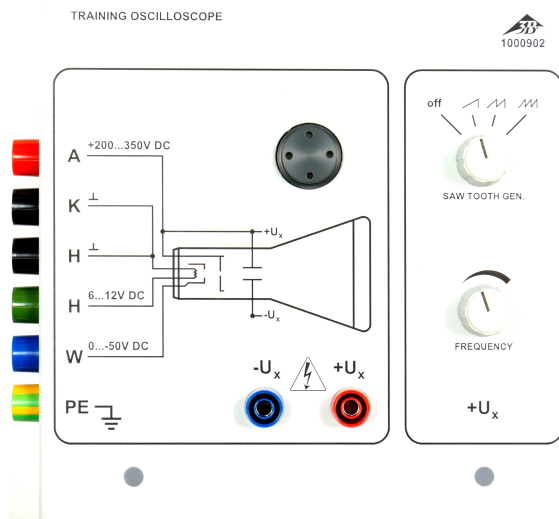


Fig. 1: Elettronica di funzionamento

Ingressi:

A:	Anodo
K	Catodo
H	Riscaldamento
W	Cilindro di Wehnelt
⊥	Massa
PE	Messa a terra di protezione

Uscite:

-U _x	Piastra di deflessione sinistra
+U _x	Piastra di deflessione destra

Generatore a dente di sega:

	Frequenza semplice
	Frequenza doppia
	Frequenza tripla
Frequenza	Frequenza a dente di sega

4.1 Messa in funzione

Per l'alimentazione dell'oscilloscopio didattico sono necessari alimentatori che forniscono le seguenti tensioni:

200-350 V CC regolabile,
0-50 V CC regolabile,
6-12 V CC.

A questo scopo è particolarmente adatto l'alimentatore 1001011 / 1001012 e 1003307 / 1003308 che è in grado di fornire tutte queste tensioni.

Nota:

Di norma l'oscilloscopio didattico funziona, a prescindere dal tubo installato, con tensioni anodiche fino a circa 300 V. La tensione anodica non deve in ogni caso superare i 350 V.

- Spegner l'alimentatore.
- Collegare gli ingressi dell'oscilloscopio didattico con le uscite dell'alimentatore in base alle tensioni indicate.
- Impostare il regolatore di tensione in modo da non superare i valori limite.
- Accendere l'alimentatore.

Dopo 10-30 s compare sullo schermo fluorescente una macchia verde indicante il fascio di elettroni in arrivo. Per mantenere il tubo il più semplice e chiaro possibile a scopo didattico, si è rinunciato ad un dispositivo supplementare per l'accelerazione successiva e la messa a fuoco del fascio. Per questo motivo non è possibile di norma mettere a fuoco il fascio in modo così ottimale come avviene negli oscilloscopi per la tecnica di misurazione.

- I valori della tensione di Wehnelt variano finché la macchia non raggiunge l'estensione minima.

Il fascio elettronico è visibile anche all'interno del tubo come filo rossastro, ma, per la luminosità ridotta, solo in ambiente oscurato.

4.2 Dispositivi di deflessione

4.2.1 Deflessione elettrica

Mediante le piastre di deflessione poste all'interno del tubo, il fascio elettronico può essere deviato orizzontalmente applicando una tensione di max. 100 V. Per la maggior parte delle applicazioni questa tensione viene fornita dal generatore a dente di sega. Il fascio si sposta quindi da sinistra a destra e salta indietro. Questo processo si ripete con una frequenza impostabile. In questo modo è possibile rendere visibili deflessioni verticali periodiche, provocate per esempio a tempo da un campo magnetico alternativo.

4.2.2 Deflessione magnetica

Le bobine vengono fissate all'anello metallico che circonda il collo del tubo. Tra due prese di collegamento vicine sono presenti 300 spire. Se le due prese esterne vengono collegate, la corrente scorre attraverso tutte le 600 spire. Il fascio elettronico viene deviato verticalmente verso destra rispetto al campo magnetico e alla traiettoria di volo. Se le bobine vengono montate rivolte verso l'interno, è già possibile notare piccole correnti da alcuni milliampere.

4.2.3 Regolazione del fascio

Nel supporto medio del tubo è collocato un magnete ad anello mobile e fissabile mediante una vite. Questo serve a regolare il fascio, a deflessione terminata, sul punto desiderato dello schermo fluorescente.

4.3 Generatore a dente di sega

Le uscite del generatore a dente di sega sono collocate sotto il punto di fissaggio posteriore del tubo e sono contrassegnate da $-U_x$ o $+U_x$.

Una tensione a dente di sega (definita spesso anche "rampa") è una tensione modificata periodicamente nel tempo che da un valore iniziale aumenta o diminuisce in modo lineare fino ad un valore finale e infine salta indietro.

Attenzione: La tensione a dente di sega si riferisce ad un potenziale anodico di +250 V.

Con il regolatore superiore si accende il generatore e si esegue la macroregolazione della frequenza. La microregolazione si effettua con il regolatore inferiore.

5. Esempi di esperimenti

5.1 Deflessione elettrica del fascio elettronico

- Cablare il tubo come indicato nella fig. 2.
- Spegner l'alimentazione dell'oscilloscopio didattico.
- Collegare le piastre di deflessione all'uscita del generatore a dente di sega.
- Regolare il fascio elettronico sul bordo sinistro dello schermo fluorescente (circa 1 cm di distanza).
- Impostare la macroregolazione della frequenza a dente di sega al livello più basso (seconda posizione da sinistra).
- Accendere l'alimentazione.

Il punto fluorescente compare sullo schermo dopo 10-30 s. Si sposta periodicamente da sinistra a destra.

- Con l'ausilio della microregolazione diminuire

eventualmente la frequenza in modo da potere seguire chiaramente lo spostamento del punto.

5.2 Deflessione magnetica del fascio elettronico

- Cablare il tubo come indicato nella fig. 3.
- Fissare una bobina all'anello metallico.
- Effettuare i collegamenti della bobina con l'alimentatore CC.
- Regolare il fascio elettronico al centro dello schermo fluorescente.
- Accendere l'alimentatore CC e modificare la corrente della bobina.

Il fascio viene deviato verticalmente rispetto alla direzione del campo magnetico e alla traiettoria di volo.

- Modificare la polarità, l'orientamento della bobina e il numero di spire attraversate e osservare gli effetti.

5.3 Risoluzione temporale di una tensione alternata

Apparecchi ulteriormente necessari:

1 generatore di funzione (50 Ω se possibile con amplificatore) o alimentatore CA,

opzionale: 1 multimetro con frequenzimetro (tensione massima min. 150 V).

- Cablare il tubo come indicato nella fig. 4.
- Seguire le istruzioni dell'esperimento 5.1 senza tuttavia diminuire la frequenza e impostare la macroregolazione sul livello medio. In caso di utilizzo di multimetro con misurazione di frequenza, collegarlo prima dell'accensione dell'alimentazione parallelamente alle piastre di deflessione alle uscite del generatore a dente di sega. (Attenzione: la tensione a dente di sega è pericolosa al contatto)
- Fissare una bobina all'anello metallico.
- Effettuare i collegamenti della bobina con il generatore di funzione (se presente, con il generatore amplificato).
- Impostare una frequenza compresa tra 30 e 100 Hz nel generatore di funzione.

Il fascio viene deviato verticalmente durante il suo spostamento dal bordo sinistro a quello destro.

- Se necessario aumentare la tensione di uscita per ottenere una deflessione maggiore.

A causa della rapida ripetizione la forma della tensione alternata può essere riconosciuta solo difficilmente, in quanto la registrazione di norma non inizia in un punto fisso all'interno del periodo

(fase fissa) e quindi si sovrappongono molte immagini diverse tra loro. Questo problema non si verifica se la frequenza a dente di sega coincide con la frequenza del segnale di ingresso dal generatore di funzione.

- Cercare con la microregolazione la frequenza con cui appare un'immagine apparentemente stabile che mostra un periodo di oscillazione.

Con quali altre frequenze a dente di sega appare un'immagine stabile?

5.4 Figure di Lissajous

Apparecchi ulteriormente necessari:

1 generatore di funzione (50 Ω, se possibile con amplificatore) e 1 alimentatore CA o 2 generatori di funzione.

- Cablare il tubo come indicato nella fig.5.
- Montare sull'anello metallico una bobina rivolta verso l'interno con asse orientato orizzontalmente.
- Collegare gli ingressi (verde, giallo) all'alimentatore CA o al secondo generatore di funzione (impostato su una tensione sinusoidale di 50 Hz). Selezionare l'ampiezza in modo che la linea che compare sullo schermo sia la metà del diametro dello schermo.
- Con il magnete ad anello orientare la linea in posizione centrale e orizzontale.
- Montare sull'anello metallico un'altra bobina rivolta verso l'interno con asse orientato verticalmente.

- Collegare gli ingressi (verde, giallo) al primo generatore di funzione (impostato su una tensione sinusoidale di 50 Hz).

Compare un'ellisse che cambia forma più rapidamente o più lentamente a seconda di quanto le frequenze dei segnali di ingresso coincidano. Per ogni ciclo viene assunta due volte la forma di una retta inclinata.

- Adeguare l'ampiezza del primo generatore di funzione in modo che l'inclinazione della retta corrisponda a 45° e durante il passaggio si generi un cerchio.

Si osservano già le più semplici figure di Lissajous. Le forme dipendono dal rapporto delle frequenze e dallo spostamento di fase. Con una piccola deviazione dalla frequenza nominale esatta in uno dei due generatori di funzione (di norma è già sufficiente l'imprecisione degli apparecchi), lo spostamento di fase si verifica automaticamente e tutte le figure relative ad un rapporto di frequenza possono essere osservate in successione.

- Impostare la frequenza del primo generatore di funzione su multipli della frequenza orizzontale (50 Hz).

Si osservano figure di Lissajous per i rapporti di frequenza 2:1, 3:1, 4:1,....

- Ulteriori figure di Lissajous si generano con frazioni della frequenza orizzontale (p. es. 3:2 (75 Hz), 4:3 (66,7 Hz).

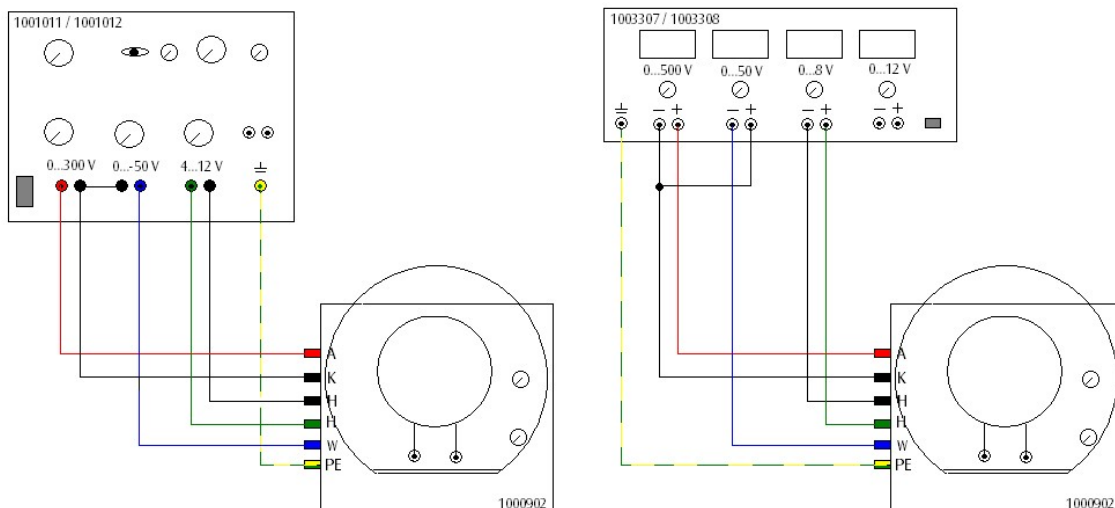


Fig.2 Deflessione elettrica del fascio elettronico (sinistra: con alimentatore 1001011 / 1001012, destra: con alimentatore 1003307 / 1003308).

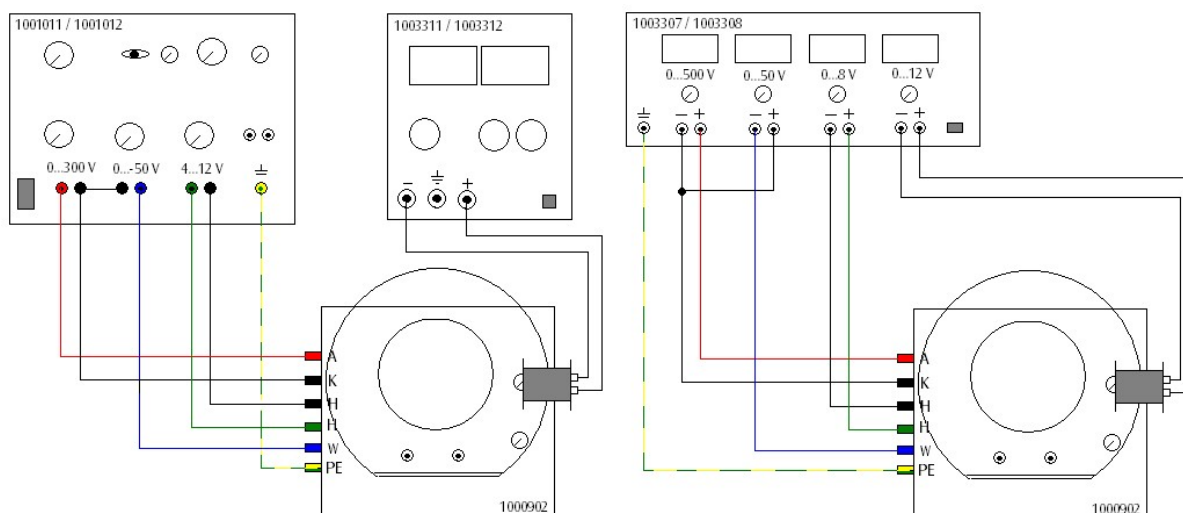


Fig.3 Deflessione magnetica del fascio elettronico (sinistra: con alimentatore 1001011 / 1001012 e alimentatore 1003311 / 1003312, destra: con alimentatore 1003307 / 1003308).

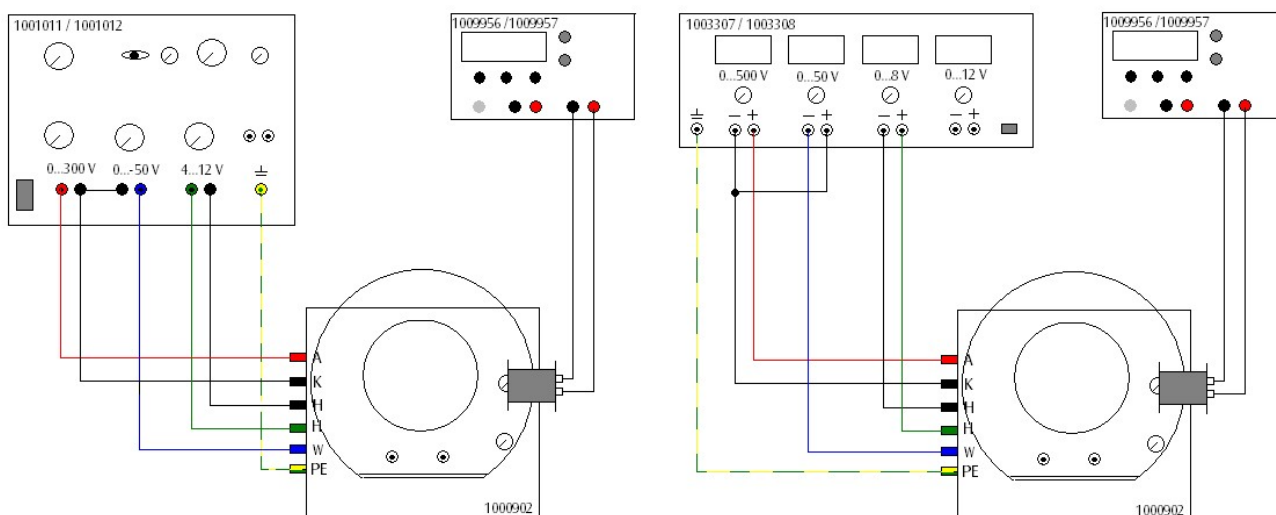


Fig.4 Risoluzione temporale di una tensione alternata (sinistra: con alimentatore 1001011 / 1001012 e generatore di funzione 1009956 / 1009957, destra: con alimentatore 1003307 / 1003308 e generatore di funzione 1009956 / 1009957).

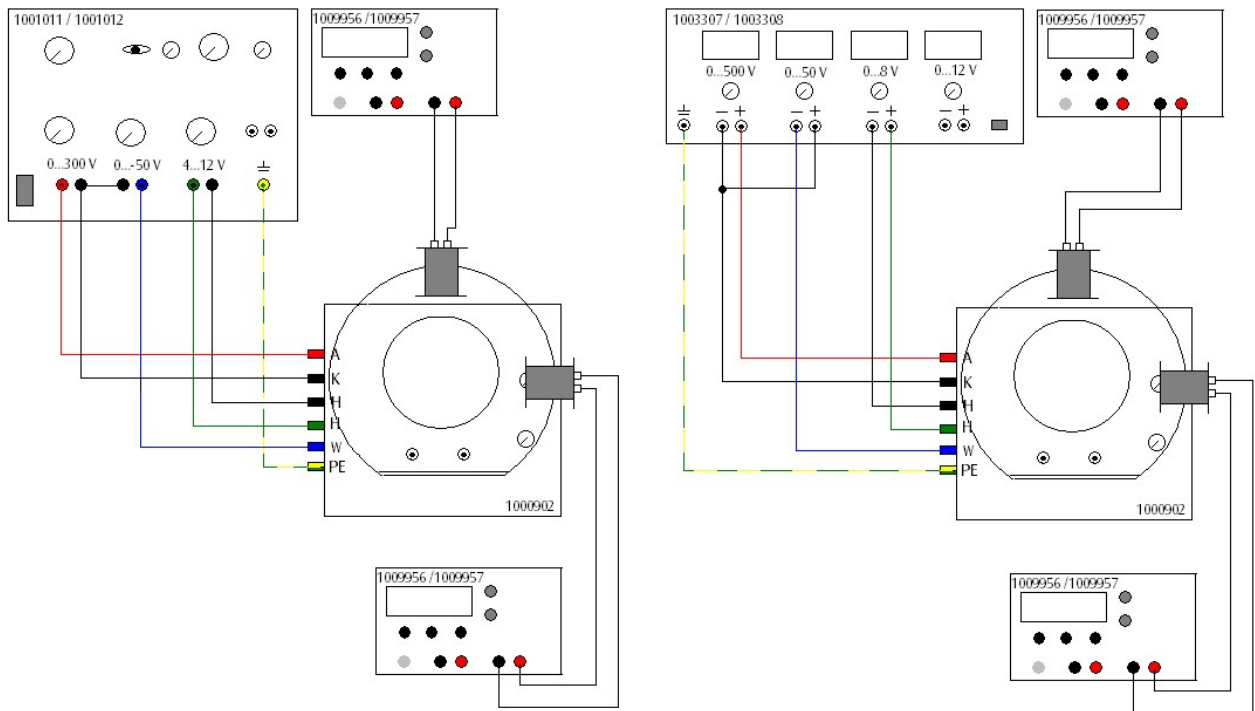
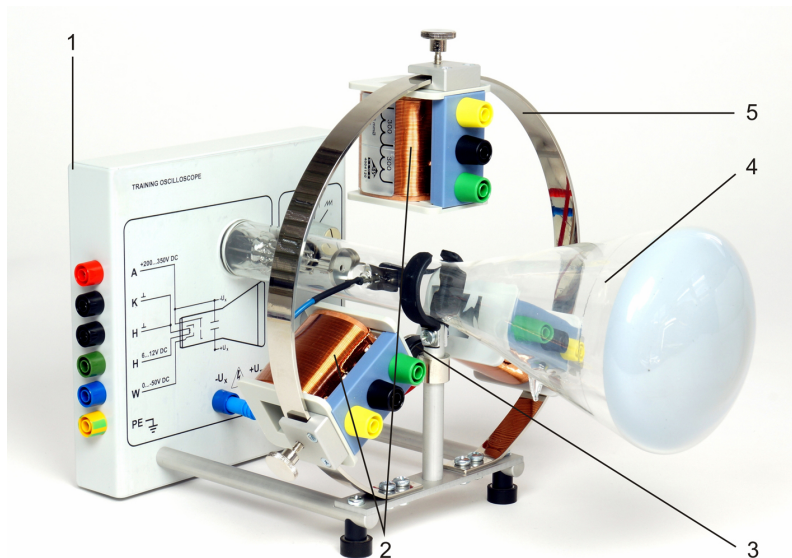


Fig.5 Figure di Lissajous (sinistra: con alimentatore 1001011 / 1001012 e 2x generatore di funzione 1009956 / 1009957, destra: con alimentatore 1003307 / 1003308 e 2x generatore di funzione 1009956 / 1009957).

Osciloscópio didático 1025250

Instruções para o uso

05/16 CW/ALF/UD



- 1 Eletrônica de operação
- 2 Bobinas de desvio
- 3 Ímã em anel
- 4 Tubos de Braun
- 5 Anel de metal

1. Indicações de segurança

O osciloscópio didático é alimentado em parte com tensões acima de 60 V.

- Só realizar as conexões com o aparelho de alimentação elétrica desligado.
- Utilizar cabos de segurança.

O tubo de vidro estando evacuado existe o risco de implosão.

- Não exercer nenhum esforço mecânico sobre o tubo.

Em escolas ou centros de formação a operação do aparelho deve ocorrer sob a responsabilidade de pessoas preparadas para a operação do aparelho.

2. Descrição

Com o osciloscópio didático pode ser demonstrado o desvio de um feixe de elétrons por campos elétricos e magnéticos, como são encontrados em televisões ou em osciloscópios utilizados para técnicas de medição. Ele consiste basicamente num tubo de Braun, o qual é alimentado em tensão por conectores de 4 mm, rodeado por

um anel no qual podem ser fixadas bobinas de desvio.

O tubo de Braun é uma ampola de vidro evacuada em cujo gargalo encontram-se um cátodo incandescente e um ânodo em forma de disco perfurado a aproximadamente meio centímetro de distância entre eles. Os elétrons que saem do cátodo são acelerados em direção ao ânodo, sendo que uma parte destes atravessa a perfuração formando um feixe que provoca uma fluorescência verde na tela luminescente de silicato de zinco. A focalização do eixo ocorre por um lado através do cilindro de Wehnelt que rodeia o cátodo, que em contra do cátodo, traz um potencial negativo. Por outro lado o tubo com néon está preenchido com uma pressão de aprox. 1 Pa, que concentra o feixe por constrição de gás tornando-o ao mesmo tempo visível.

Continuam estando duas placas de desvio no tubo opostas uma a outra e orientadas paralelamente ao feixe, que podem ser conectadas ao gerador de dentes de serra integrado ou a uma fonte externa e tensão. O gerador fornece uma tensão em dentes de serra de 3,5 até 650 Hz com uma amplitude de 100 V em ralação ao potencial anódico.

3. Dados técnicos

Tensão anódica:	200...350 V DC
Corrente anódica:	máx. 1 mA
Tensão de aquecimento:	6...12 V DC
Tensão de Wehnelt:	-50...0 V DC
Tamanho das placas:	12 x 20 mm ²
Distância entre placas:	14 mm
Bobinas de desvio:	300 + 300 espiras R _i = 4,2 Ω L = 6 mH
Tensões em dentes de serra:	V _{pp} = 100 V f = 3,5..650 Hz

4. Utilização

4.0 Eletrônica de operação

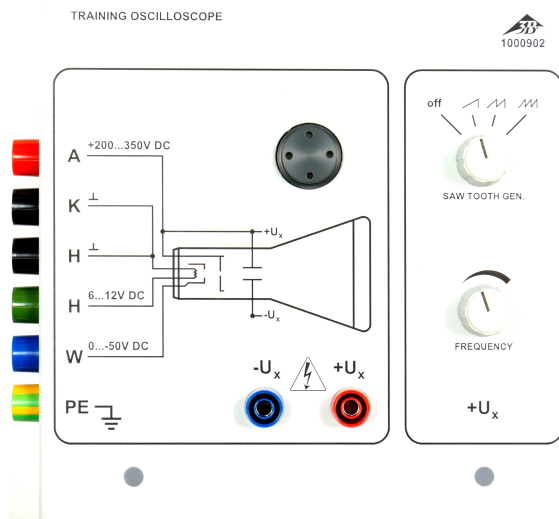


Fig. 1: Eletrônica de operação

Entradas:

A	Anodo
K	Catodo
H	Aquecimento
W	Cilindro de Wehnelt
⊥	Peso
PE	Aterramento

Saídas:

-U _x	Placa de desvio esquerda
+U _x	Placa de desvio direita

Gerador de dente de serra:

	frequência simples
	frequência dupla
	frequência tripla
Frequência	frequência do dente de serra

4.1 Primeira operação

Para a alimentação do osciloscópio didático são necessários aparelhos de alimentação em rede que fornecem as seguintes tensões:

200-350 V DC ajustável,
0-50 V DC ajustável,
6-12 V DC.

Para isto, o aparelho de alimentação em rede 1001011 / 1001012 e 1003307 / 1003308 é particularmente adaptado, por disponibilizar todas essas tensões.

Orientação:

O osciloscópio de aprendizado funciona, dependendo do tubo inserido, geralmente com tensões de anodo de até cerca de 300 V. A tensão do anodo não pode, entretanto, ultrapassar os 350 V.

- Desligar o aparelho de alimentação elétrica.
- Conectar as entradas do osciloscópio didático com as saídas do aparelho de alimentação em rede conforme às tensões correspondentes.
- Ajustar o regulador de tensão de modo que os valores limite não sejam ultrapassados.
- Ligar o aparelho de alimentação.

Após 10-30 s aparece uma mancha verde sobre a tela que marca um feixe de elétrons incidente. Para manter o tubo o mais simples e compreensível possível para fins didáticos, não foi instalado um dispositivo adicional para aceleração posterior e focalização. Por essa razão, em geral o feixe não pode ser tão nítido como num osciloscópio de medição.

- Variar a tensão de Wehnelt até que a mancha apresente a sua extensão mínima.

O feixe de elétrons também é visível no tubo na forma de um fio avermelhado, porém, por causa da luminosidade reduzida, só é visível em espaço escurecido.

4.2 Dispositivos de desvio

4.2.1 Desvio elétrico

O feixe de elétrons pode ser desviado aplicando uma tensão de no máximo 100 V através das placas de desvios que se encontram no tubo. Na maioria das aplicações essa tensão é obtida pelo gerador de dentes de serra. O feixe se desloca então da esquerda para a direita e pula no final de volta, o que se repete com uma tensão ajustável. Assim, podem ser tornados visíveis desvios periódicos verticais, por exemplo, através de um campo magnético alternado periodicamente definido.

4.2.2 Desvio magnético

As bobinas são fixadas no anel que rodeia o

gargalo do tubo. Entre dois conectores vizinhos encontram-se a cada vez 300 espiras. Se os dois conectores forem interligados, então flui corrente em todas as 600 espiras. O feixe de elétrons é desviado para a direita perpendicularmente ao campo magnético e à direção de deslocamento. Se as bobinas forem montadas viradas para dentro, já pequenas correntes de poucos miliampères são então perceptíveis.

4.2.3 Ajuste do feixe

No suporte mediano do tubo encontra-se um anel magnético móvel e ajustável por um parafuso de ajuste. Este serve para ajustar o feixe no ponto desejado na tela luminescente com o desvio desligado.

4.3 Gerador de dentes de serra

As saídas do gerador de dentes de serra encontram-se por trás do ponto de fixação posterior do tubo e estão legendados com $-U_x$ ou $+U_x$.

Uma tensão em dentes de serra (freqüentemente designada como "rampa") é uma tensão alterada no tempo, que aumenta linearmente de um valor inicial até o valor final, para logo voltar a pular novamente..

Cuidado: a tensão em dentes de serra se refere ao potencial anódico de +250 V.

No regulador de cima, o gerador é ligado e é efetuado o ajuste grosseiro da freqüência. O ajuste fino ocorre por meio do regulador de baixo.

5. Exemplos de experiências

5.1 Desvio elétrico do feixe de elétrons

- Efetuar a conexão do tubo conforme a fig. 2.
- Desligar a alimentação em tensão do osciloscópio didático
- Conectar as placas de desvio com a saída do gerador de dentes de serra.
- Ajustar o feixe de elétrons na beira esquerda (aprox. 1 cm de distância) da tela luminescente.
- Posicionar o ajuste grosseiro do gerador de dentes de serra no menor nível (segunda posição da esquerda).
- Ligar a fonte de tensão.

O ponto luminoso aparece na tela após 10-30 s. Ele se desloca periodicamente da esquerda para a direita.

- Caso necessário, baixar a freqüência até que seja possível seguir os movimentos do ponto.

5.2 Desvio magnético do feixe de elétrons

- Efetuar a conexão do tubo conforme a fig. 3.
- Fixar uma bobina no anel de metal.
- Conectar os conectores da bobina com o aparelho de alimentação DC.
- Ajustar o feixe de elétrons no meio da tela luminescente.
- Ligar o aparelho de alimentação DC e variar a corrente das bobinas.

O feixe é desviado e torna-se perpendicular à direção do deslocamento e do campo magnético.

- Alterar a polaridade, a direção e o número de espiras eletrificadas e observar os efeitos.

5.3 Resolução temporal de uma tensão alternada

Aparelhos adicionalmente necessários:

1 gerador de funções (50 Ω , se possível com amplificador) ou aparelho de alimentação AC, opcional: 1 multímetro com medidor de freqüência (tensão máxima mín. de 150 V).

- Efetuar a conexão do tubo conforme a fig. 4.
- Seguir as instruções da experiência 5.1, porém, não reduzir a freqüência e posicionar o ajuste grosseiro no nível médio. Caso exista um multímetro capaz de contar freqüências, conecta-lo às saídas do gerador de dentes de serra antes de ligar a alimentação elétrica paralelamente às placas de desvio. (cuidado: a tensão em dentes de serra é perigosa ao contato)
- Fixar uma bobina no anel de metal.
- Conectar as saídas da bobina com o gerador de funções (se possível, com o amplificador).
- Ajustar uma freqüência entre 30 e 100 Hz no gerador de funções.

O feixe é desviado durante seu movimento da esquerda para a direita verticalmente para a beira direita.

- Caso necessário, aumentar a tensão de saída para obter um desvio maior.

Por causa da rápida repetição a forma da corrente alternada é dificilmente reconhecível, sendo que a medição, em geral, não inicia num ponto fixo dentro do período (com fase fixa) e portanto superpõe inúmeras imagens deslocadas umas em relação às outras. Esse problema não ocorre quando a freqüência em dentes de serra coincide com a freqüência do sinal de entrada do gerador de funções.

- Procurar com o ajuste fino a freqüência na qual aparece uma imagem aparentemente estacionária que mostra um período de oscilação.

A qual freqüência em dentes de serra surge também uma imagem?

5.4 Figuras de Lissajous

Aparelhos adicionalmente necessários:

1 gerador de funções (50 Ω , se possível com amplificador) e 1 aparelho de alimentação em rede AC ou 2 geradores de frequência.

- Efetuar a conexão do tubo conforme a fig. 5.
- Montar uma bobina no anel de metal virada para dentro com o eixo orientado horizontalmente.
- Conectar as entradas (verde, amarela) com o aparelho de alimentação elétrica AC ou com o segundo gerador de funções (ajustado numa tensão sinodal de 50 Hz). Selecionar a amplitude de modo que a linha que aparece seja aproximadamente equivalente à metade do diâmetro da tela.
- Ajustar a linha no meio e horizontalmente com o ímã em anel.
- Montar mais uma bobina no anel de metal virada para dentro com o eixo orientado verticalmente.
- Conectar as entradas (verde, amarela) com o primeiro gerador de funções (ajustado numa tensão sinodal de 50 Hz).

Surge uma elipse, que conforme o grau de coincidência das frequências do sinal de entrada, se deforma mais ou menos rapidamente. Sendo que a cada ciclo esta toma a forma de uma reta inclinada.

- Adequar a amplitude do primeiro gerador de funções de modo que a inclinação da reta seja de 45° e que entre fases surja um círculo.

Já são observadas imagens de Lissajous muito simples. As formas dependem da relação entre as frequências e da defasagem de fases. Por causa de um reduzido desvio da frequência exata (em geral basta a imprecisão dos aparelhos) o desvio de fase ocorre automaticamente e todas as imagens relativas a uma relação de frequências podem ser observadas uma após a outra.

- Ajustar a frequência do primeiro gerador de funções multiplicando muitas vezes a frequência horizontal (50 Hz).

Observam-se as figuras de Lissajous para as relações de frequências 2:1, 3:1, 4:1,.....

- Outras figuras de Lissajous surgem com a multiplicação quebrada da frequência horizontal (por ex. 3:2 (75 Hz), 4:3 (66,7 Hz).

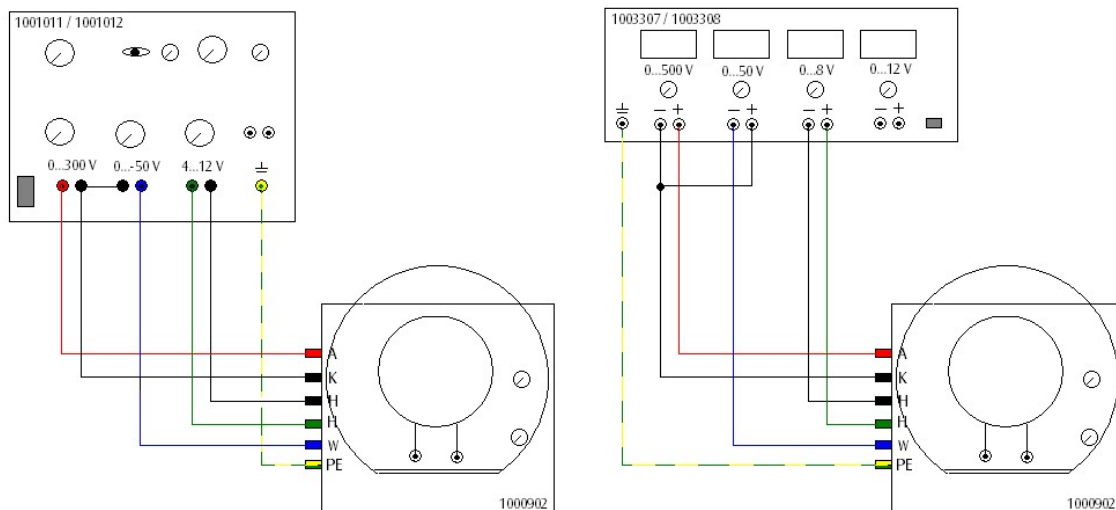


Fig.2 Desvio elétrico do feixe de elétrons (esquerda: com fonte de alimentação 1001011 / 1001012, direita: com fonte de alimentação 1003307 / 1003308).

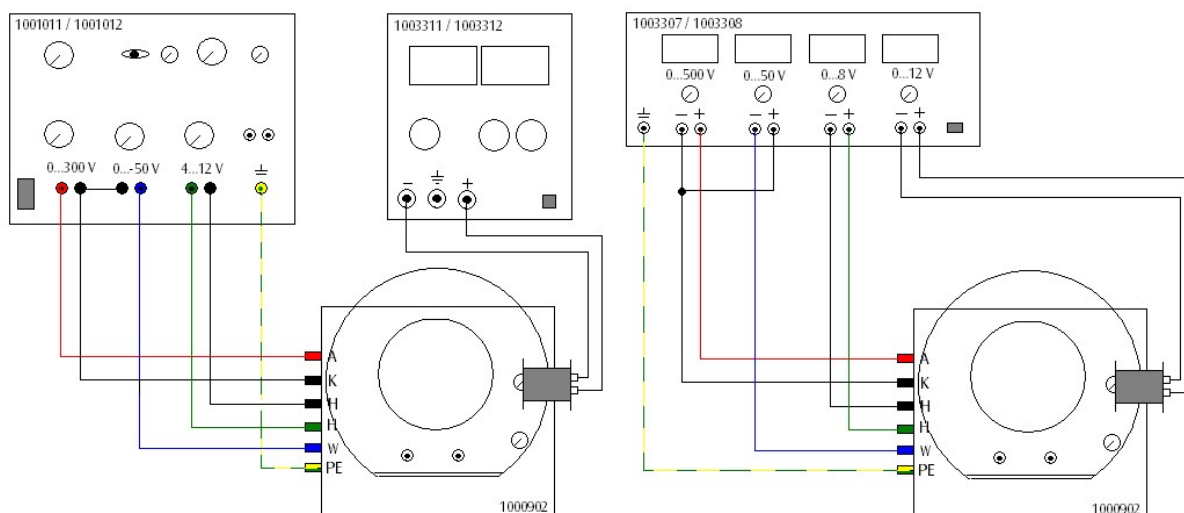


Fig.3 Desvio magnético do feixe de elétrons (esquerda: com fonte de alimentação 1001011 / 1001012 e fonte de alimentação 1003311 / 1003312, direita: com fonte de alimentação 1003307 / 1003308).

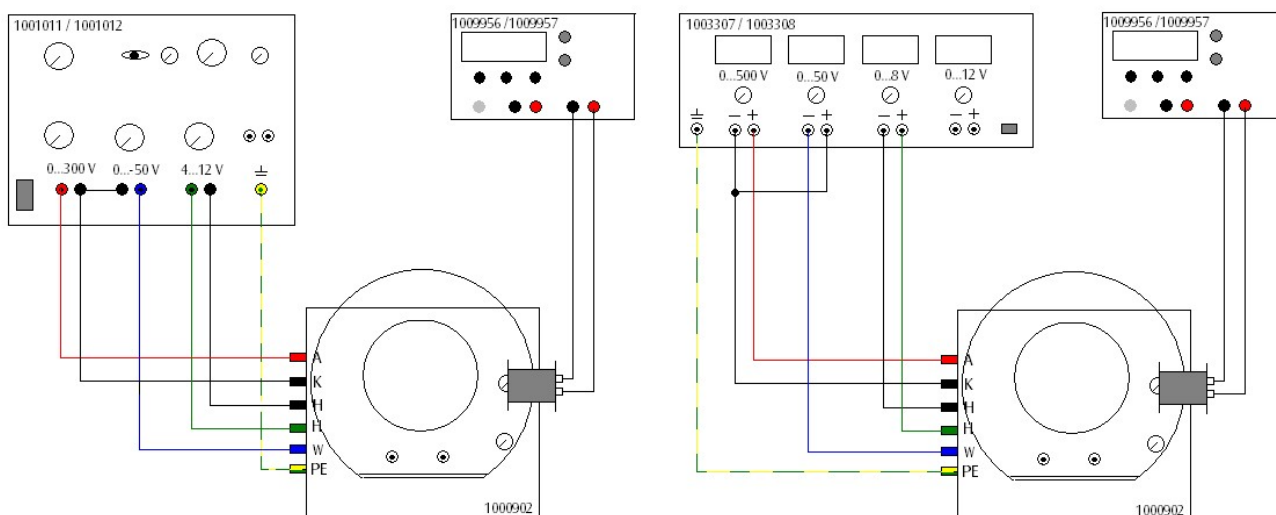


Fig.4 Resolução temporal de uma tensão alternada (esquerda: com fonte de alimentação 1001011 / 1001012 e gerador de funções 1009956 / 1009957, direita: com fonte de alimentação 1003307 / 1003308 e gerador de funções 1009956 / 1009957).

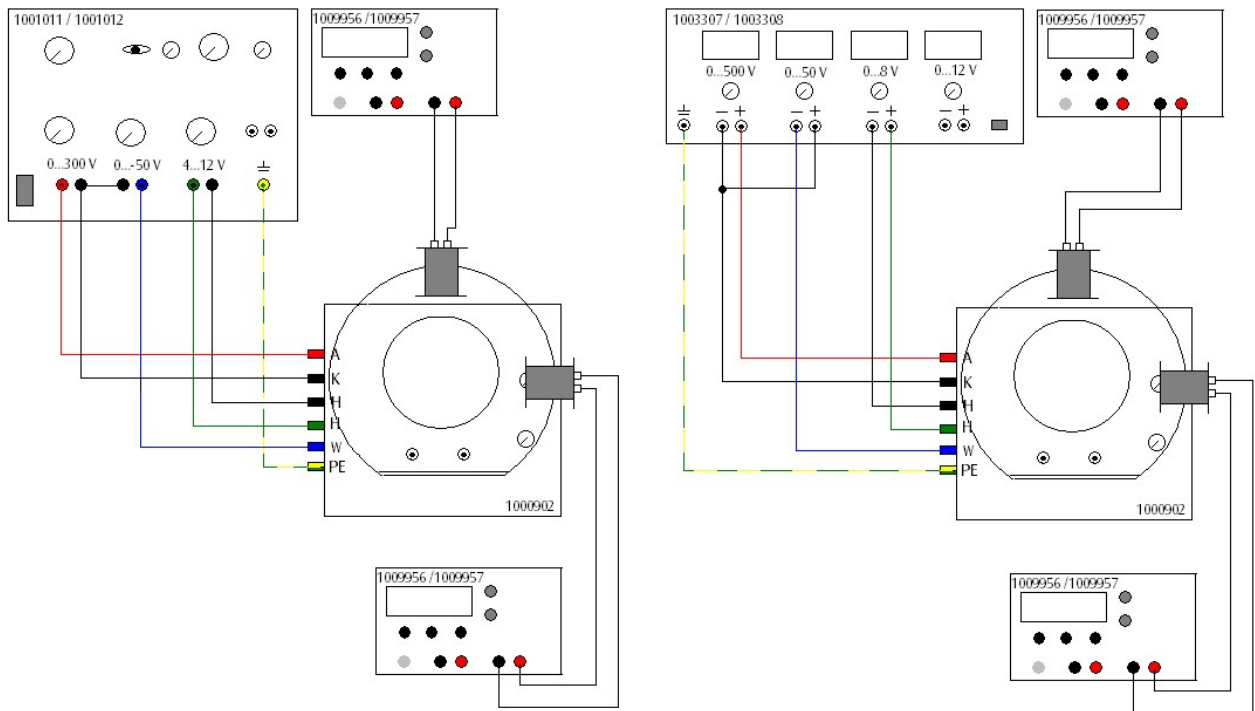


Fig.5 Figuras de Lissajous (esquerda: com fonte de alimentação 1001011 / 1001012 e 2x gerador de funções 1009956 / 1009957, direita: com fonte de alimentação 1003307 / 1003308 e 2x gerador de funções 1009956 / 1009957).