

Einführung in die Messtechnik

Oszilloskop-Messtechnik

Wolfgang Kessel
Braunschweig

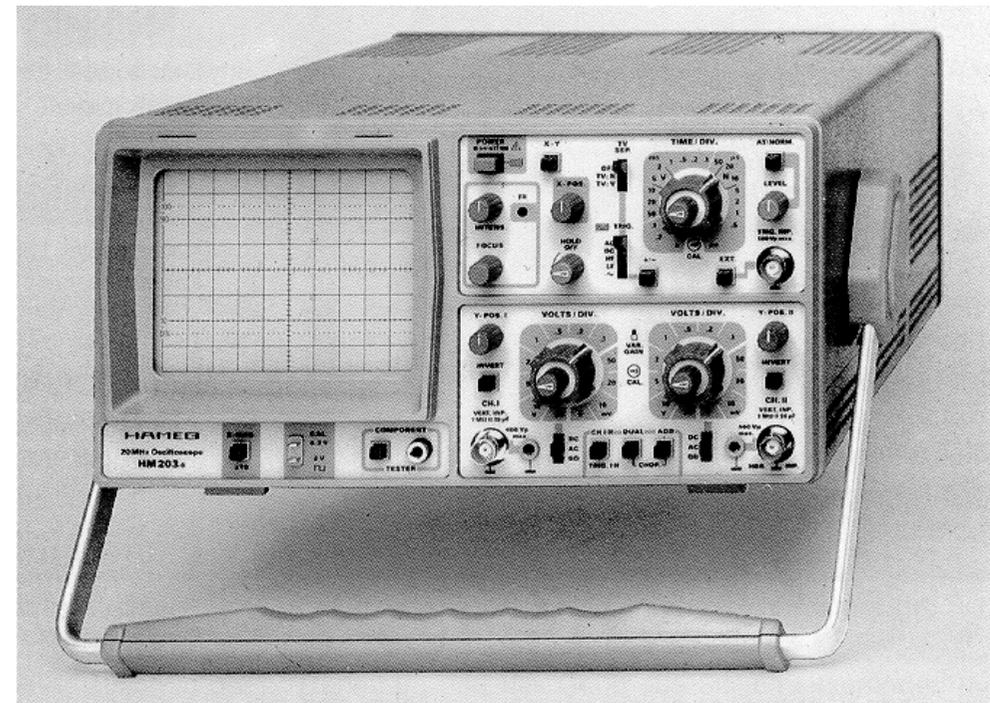


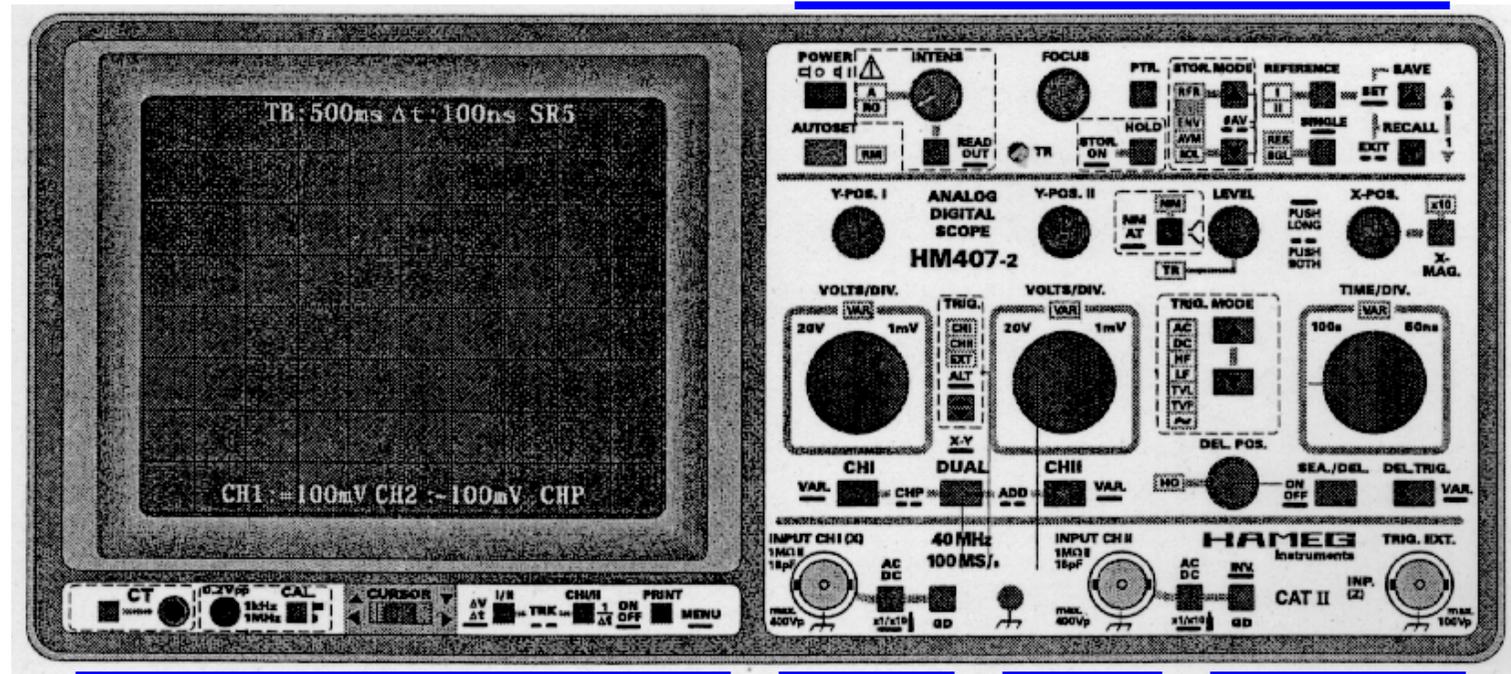
Grundlagen

Ein Oszilloskop ist ein elektronisches Messmittel zur grafischen Darstellung von schnell veränderlichen elektrischen Signalen in einem kartesischen Koordinatensystem (X-Y-Darstellung) als Kennlinie oder Zeitfunktion.

Ansicht eines Zweistrahl-Oszilloskops mit den Bereichen:

- Strahleinstellung und Zeitbasis T im oberen Teil;
- Ordinaten-(X)-Kanäle V_1 , V_2 oder X-Y-Kanäle V_X , V_Y (umschaltbar) im unteren Teil;
- Versorgung unter dem Bildschirm.





1

2.1

2.2

3

Frontplatte eines Zweistrahlspeicher-Oszilloskops mit den Bereichen:

1 - Strahl-Einstellungen, Versorgung;

2.1, 2.2 - Ordinaten-(X)-Kanäle V_1 , V_2 oder X-Y-Kanäle V_x , V_y (umschaltbar);

3 – Zeitbasis T ;

4 – Speicher-Einstellungen.

Funktion des Kathodenstrahlrohres

Die aus der Elektronenquelle austretenden Elektronen werden durch die Anodenspannung V_A auf die Geschwindigkeit v_A beschleunigt.

$$e_0 \cdot V_A = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot v_A^2$$

(Energie-Satz)

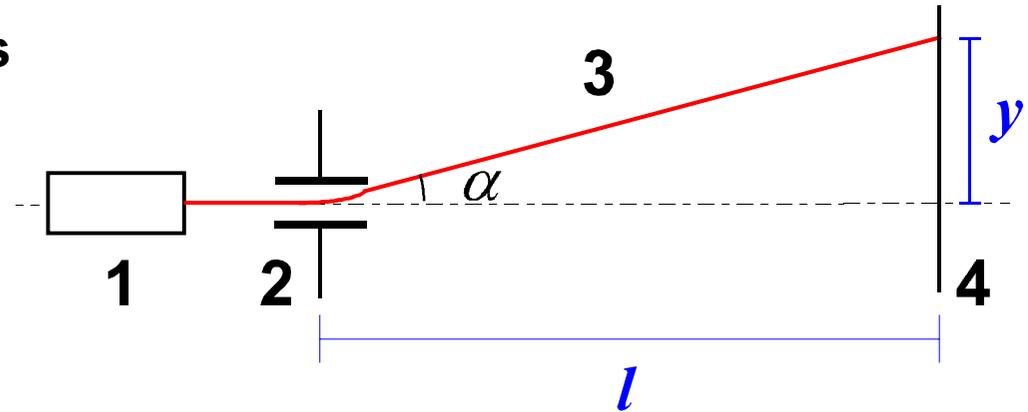
mit

e_0 - Elektronenladung;

m_e - Elektronenmasse;

V_A - Anodenspannung;

v_A - Endgeschwindigkeit
in Achsenrichtung.



Schematischer Aufbau eines Kathodenstrahlrohres.

- 1 Elektronenquelle;
- 2 Ablensystem (Kondensator);
- 3 Elektronenstrahl;
- 4 (fluoreszierender) Schirm.

Sie durchfliegen in der Zeit

$$t_{\text{FLIGHT}} = \frac{D}{v_A}$$

mit

D - Länge des Ablenksystems.

das Ablenkssystem und werden dabei durch das homogene elektr. Querfeld senkrecht zur anfänglichen Flugbahn auf die Quergeschwindigkeit

$$v_Y = \frac{e_0}{m_e} \cdot \frac{V_Y}{d} \cdot t_{\text{FLIGHT}}$$

mit

v_Y - Endgeschwindigkeit in Querrichtung;

V_Y - Ablenkspannung;

d - Abstand der Ablenkplatten;

t_{FLIGHT} - Flugzeit durch das Ablenkssystem.

beschleunigt.

Die Elektronen verlassen das Ablensystem unter dem Winkel α gegen die Achse geneigt

$$\tan(\alpha) = \frac{v_Y}{v_A}$$

und erreichen den fluoreszierenden Schirm im Abstand

$$y = l \cdot \tan(\alpha)$$

mit

l - Abstand des Ablensystem vom fluoreszierenden Schirm.

der an der Auftreffstelle kurz aufleuchtet (Leuchtpunkt).

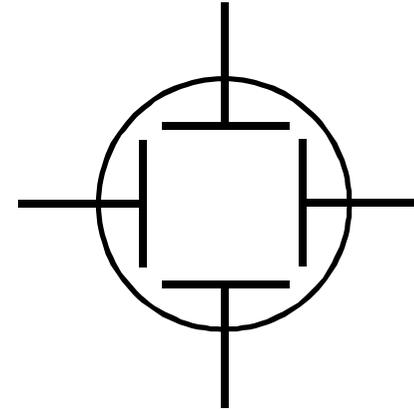
Insgesamt

$$y = \frac{1}{2} l \cdot \frac{D}{d} \cdot \frac{V_Y}{V_A}$$

Die Auslenkung y des Leuchtpunktes auf dem Schirm ist der Querspannung V_Y im Ablensystem proportional.

Schaltsymbol eines Oszilloskops

Das Oszilloskop besitzt zwei zueinander senkrechte Ablenkensysteme, die auf die zugeführte Spannung reagieren (simultane Spannungsmessgeräte):
x-Richtung (horizontal) und
y-Richtung (vertikal) in der Bildschirm-Ebene.



Das Oszilloskop besitzt zwei Betriebsarten:

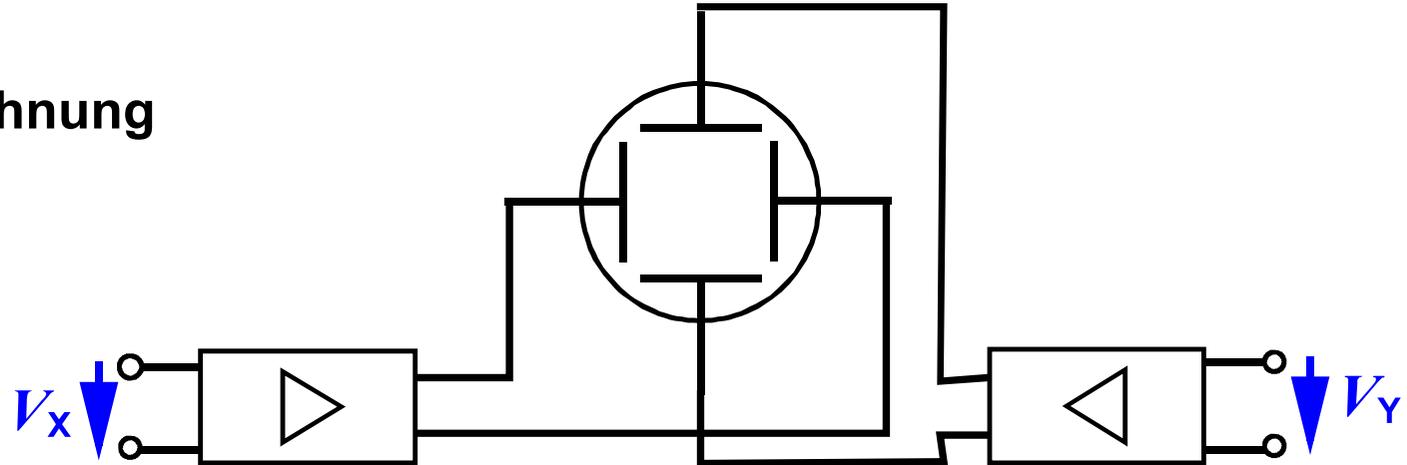
X-Y-Betriebsart: Kennlinien-Aufzeichnung;

X-T-Betriebsart: periodische Zeitsignal-Aufzeichnung.

Auf dem Bildschirm ist ein Gitternetz aus Skalenteilen (**Div**) aufgetragen, den zugehörige Messbereich zeigt der Messbereich-Umschalter (moderne Oszilloskope blenden den Messbereich oder den Skalenteil ein).

X-Y-Betriebsart

Kennlinien-Aufzeichnung



Schaltung eines Oszilloskops für den X-Y-Betrieb.

V_Y - elektr. Spannung, die auf der y-Achse dargestellt wird;

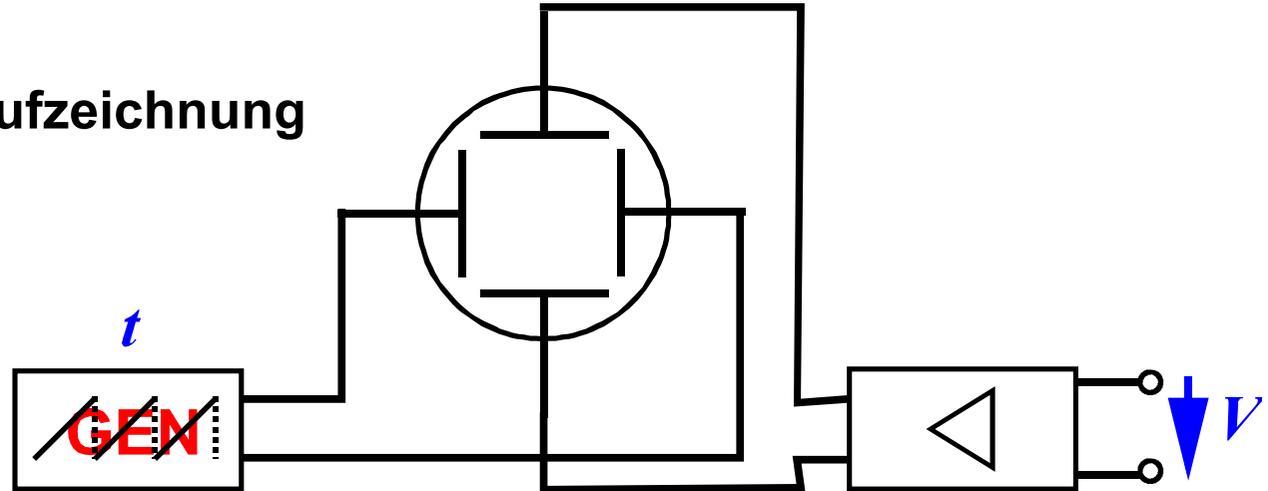
V_X - elektr. Spannung, die auf der x-Achse dargestellt wird;

Skalenkonstanten:

Y-Achse $[k_{SCALE,Y}] = V/Div$

X-Achse $[k_{SCALE,X}] = V/Div$

X-T-Betriebsart
periodische Zeitsignal-Aufzeichnung



Schaltung eines Oszilloskops für den X-T-Betrieb.

V - elektr. Spannung, die auf der y-Achse dargestellt wird;

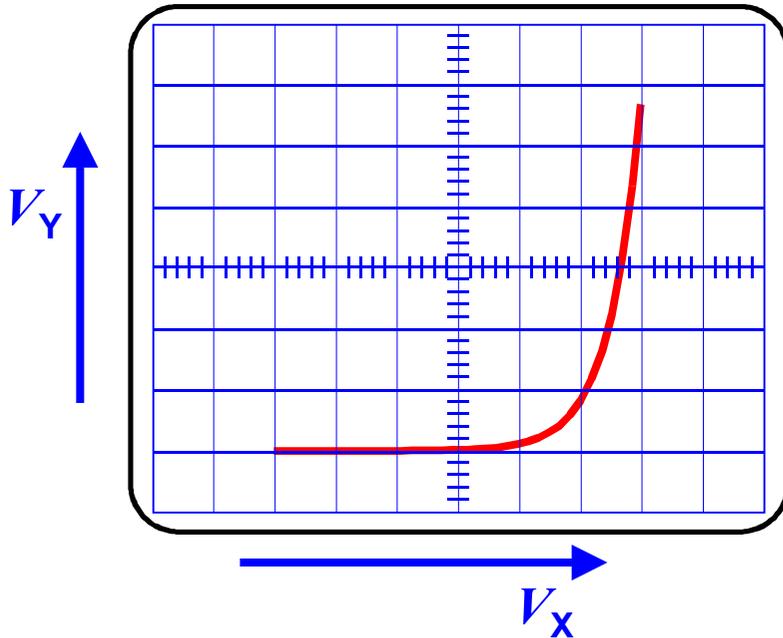
t - Zeitspanne, die auf der x-Achse dargestellt wird.

Skalenkonstanten:

Y-Achse $[k_{\text{SCALE},Y}] = V/\text{Div}$

X-Achse $[k_{\text{SCALE},X}] = s/\text{Div}$

X-Y-Betriebsart Kennlinien-Aufzeichnung

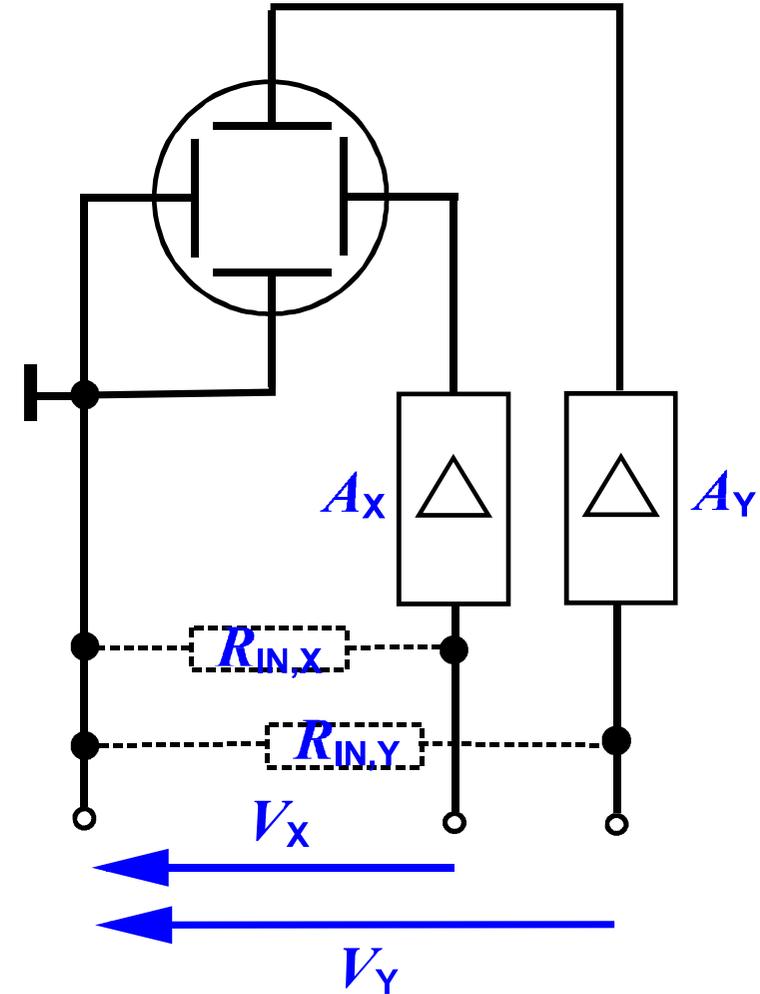


Interne Schaltung eines Oszilloskops für den X-Y-Betrieb.

V_Y , V_X - darzustellende elektr. Spannungen;

$R_{IN,Y}$, $A_{IN,X}$ - Eingangswiderstände;

A_Y , A_X - eingestellte Verstärkungen (Bereiche).



Die Kennlinie kann durch eine geeignete Zusatzspannung (Spannung-Offset) auf dem Bildschirm geeignet plaziert werden. Bei der Messung muss die Lage des Nullpunktes durch Kurschluss des entsprechenden Eingangs (Kurzschluss-Schalter/Taster) überprüft werden.

Ankopplung des Messsignals

dc - Gleichspannung-Kopplung, die gesamte elektrische Spannung wird übergeben;

ac - Wechselspannung-Kopplung, nur der Wechselanteil der elektrischen Spannung wird übergeben, der Gleichanteil wird unterdrückt.

Zur Abtrennung wird ein Kondensator verwendet, der zusammen mit dem Eingangswiderstand eine Abschwächung des effektiven Signals bei hohen Frequenzen bewirkt (*Grenzfrequenz*).

Aufzeichnung einer Kennlinie $I = f(V)$

Die periodische Wechselspannung

$$v(t) = v_{\text{AMP}} \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

mit

$v(t)$ - (momentane) Spannung zur Zeit t ;

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ - Kreisfrequenz;

$f = 1/T$ - Frequenz;

T - Periodendauer;

v_{AMP} - Amplitude.

bewirkt über den Prüfling einen periodischen Wechselstrom

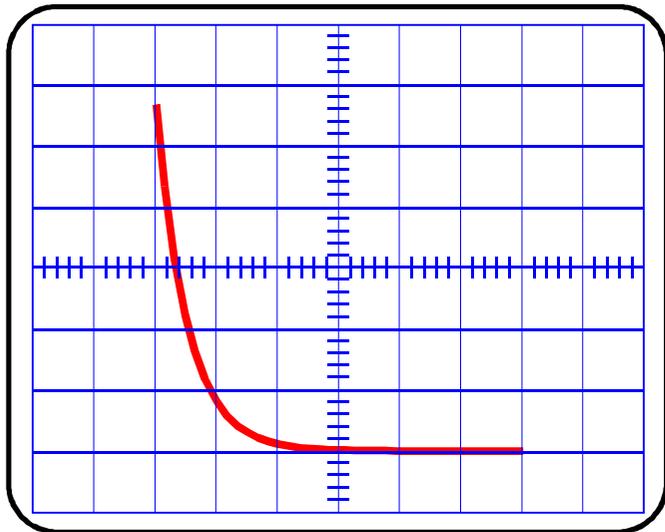
$$i(t) = f(\sin(\omega \cdot t))$$

der über einen Messwiderstand in eine periodische Spannung umgeformt wird.

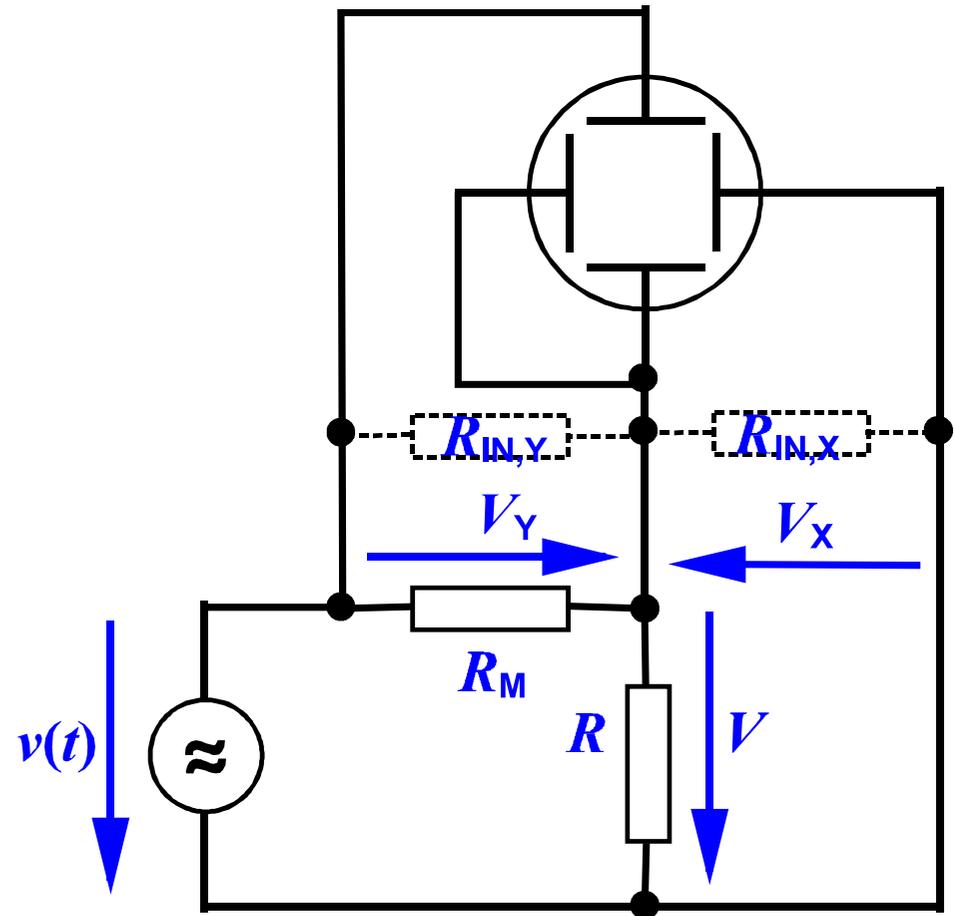
Die Spannungen werden simultan auf dem Bildschirm dargestellt.

Spannung-richtige Aufzeichnung
 Bedingung niederohmiger Verbraucher

$$R \ll R_{IN,X}$$



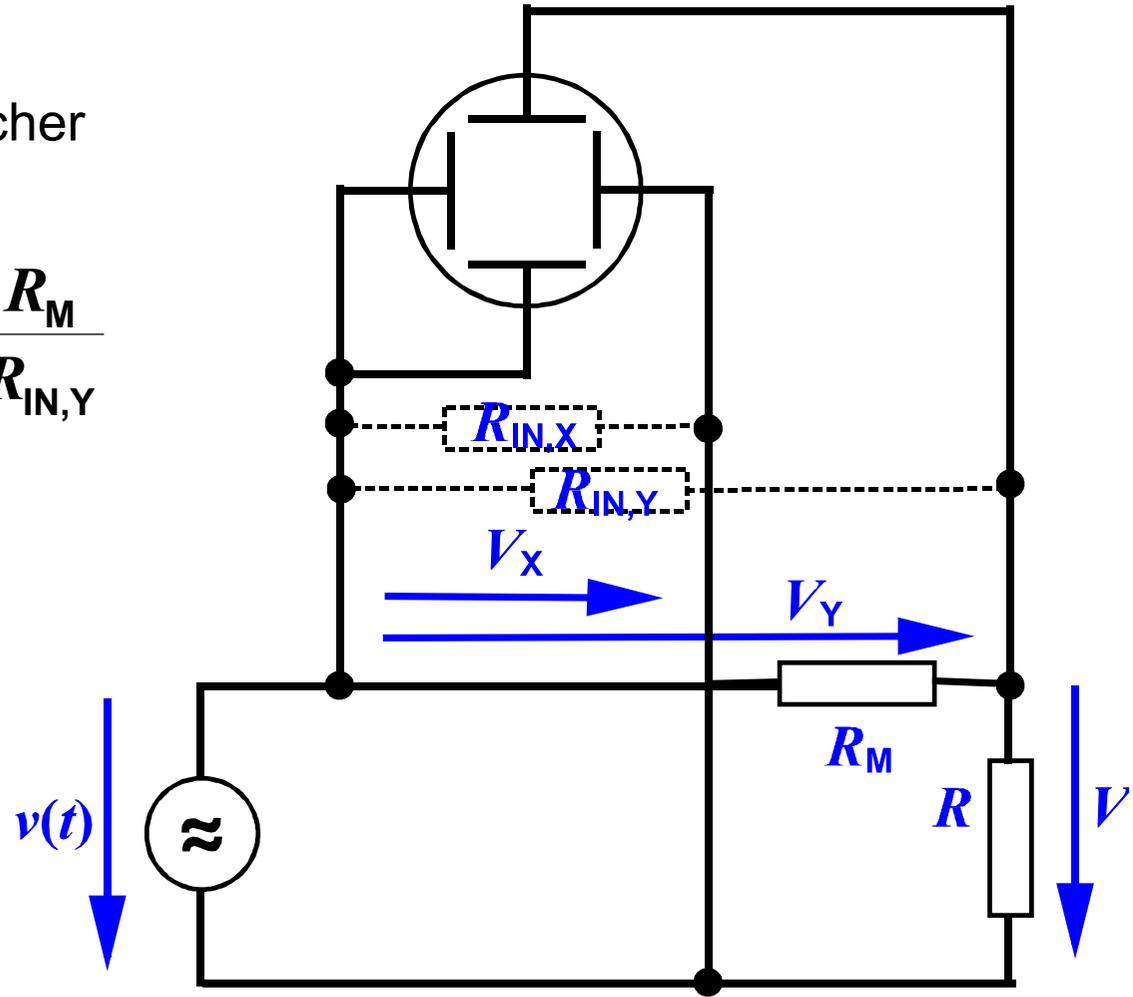
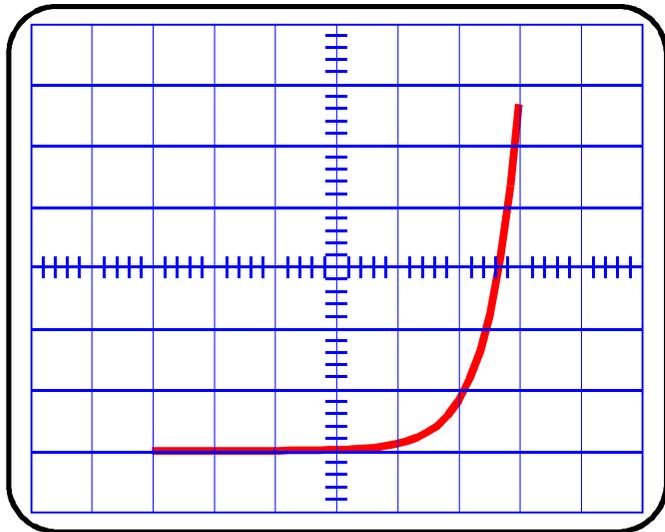
X-Eingang muss invertiert werden!



Strom-richtige Aufzeichnung
 Bedingung hochohmiger Verbraucher

$$R_{M,eff} \ll R$$

$$R_{M,eff} = R_M \cdot (1 + r); \quad r = \frac{R_M}{R_{IN,Y}}$$



X-T-Betriebsart periodische Zeitsignal-Aufzeichnung

Ablenfaktor (Skalenkonstante der Anzeige)

$$V = k_{\text{SCALE}} \cdot V_{\text{IND}}$$

$$[V_{\text{IND}}] = \text{Div}$$

$$[k_{\text{SCALE}}] = \text{V/Div} \quad (\text{cal})$$

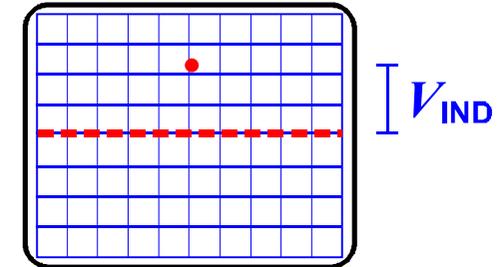
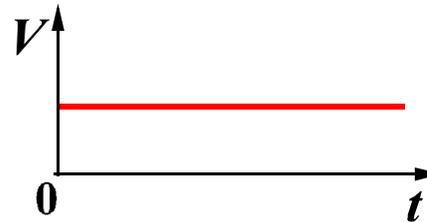
Eigenschaften

- lineare Skala,
Skalenkonstante ist angegeben, Spannungswert muss berechnet werden.
- geringe Trägheit (Elektronen),
einsatzfähig für Gleich- und Wechselspannungen bis zu sehr hohen
Frequenzen (Grenzfrequenz der Verstärker, z.Z. $f_{\text{max}} < 10 \text{ GHz}$)

Spannungsmessung

Gleichspannung

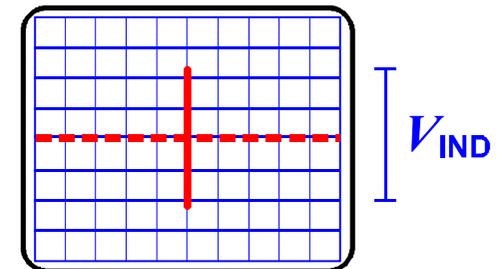
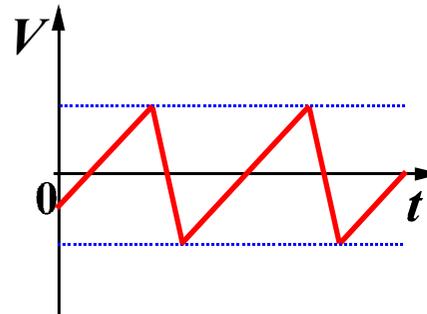
$$V_{\text{IND}} = V_{\text{X}}$$



Wechselspannung

$$V_{\text{IND}} = V_{\text{X,max}} - V_{\text{X,min}}$$

$$= 2 \cdot v_{\text{AMP}}$$



BEISPIEL **Wechselspannung-Messung**

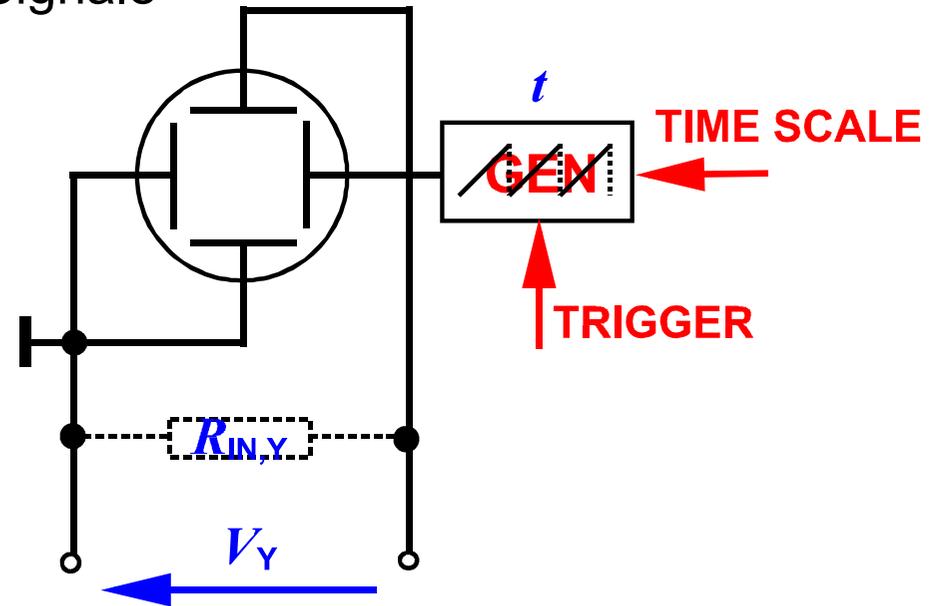
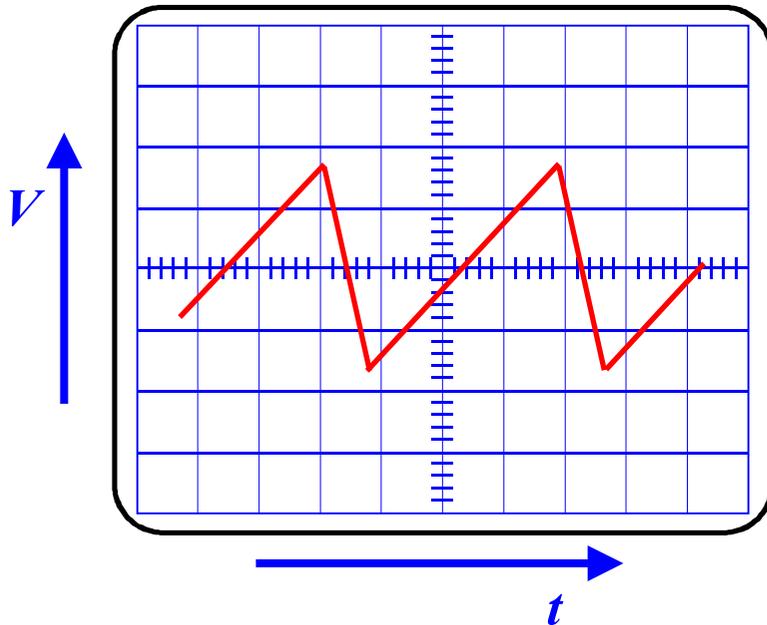
Maximal zulässige Abweichung aufgrund der Ausdehnung des Leuchtpunktes und der Auflösung der Bildschirm-Skalenteilung **0,5 Div**

Angezeigte Spannung $V_{\text{IND}} = (78 \pm 0,5) \text{ Div};$

Skalenkonstante $k_{\text{SCALE}} = 5 \text{ mV/Div (cal)};$

Spannungswert $U_{\text{AMP}} = 5 \text{ mV/Div} \cdot (78 \pm 0,5) \text{ Div}/2$
 $= (195 \pm 0,13) \text{ mV}.$

Periodische Aufzeichnung zeitabhängiger Signale



Interne Schaltung eines Oszilloskops für den X-T-Betrieb.

V_Y - darzustellende elektr. Spannung;

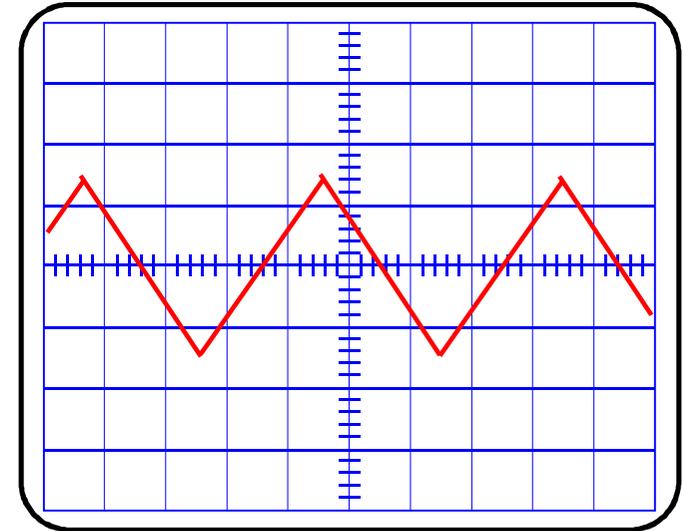
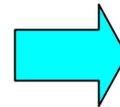
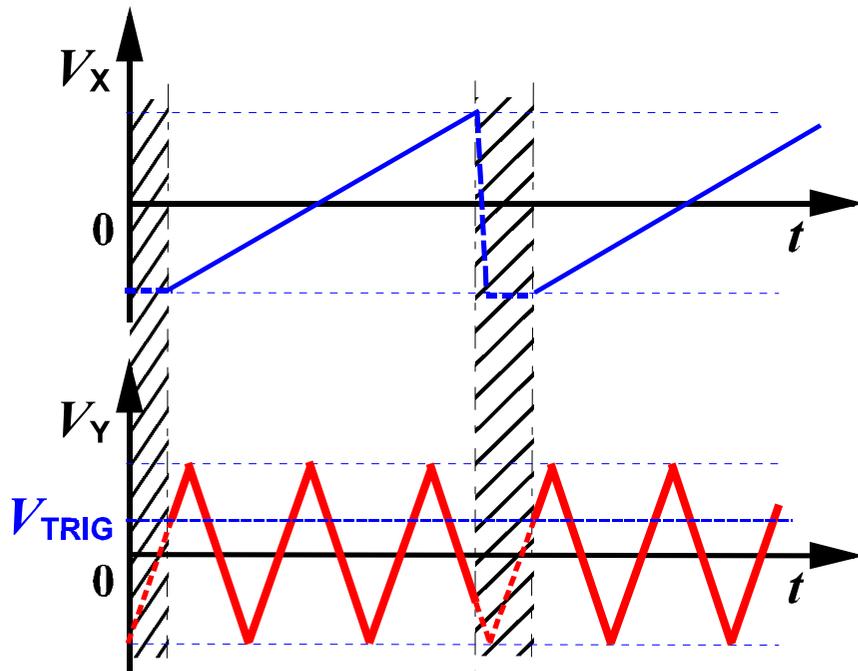
$R_{IN,Y}$ - Eingangswiderstand;

t - Zeitspanne, interner Zeitsignalgenerator.

Auslösen des Gleichlaufs (Trigger)

Ereignis für den Start der Rampenspannung der Zeitbasis

- (1) Messspannung erreicht das eingestellte Trigger-Niveau V_{TRIG}
- (2) mit aufsteigender (+) oder absteigender (-) Triggerflanke.



Die Trigger-Technik löst 2 Probleme

- Auswahl des dargestellten Bereiches;
- Synchronisation von Zeitbasis und Signal
 - a) Wiederholrate und Signalfrequenz müssen konstant sein,
 - b) Wiederholrate und Signalfrequenz müssen übereinstimmen.

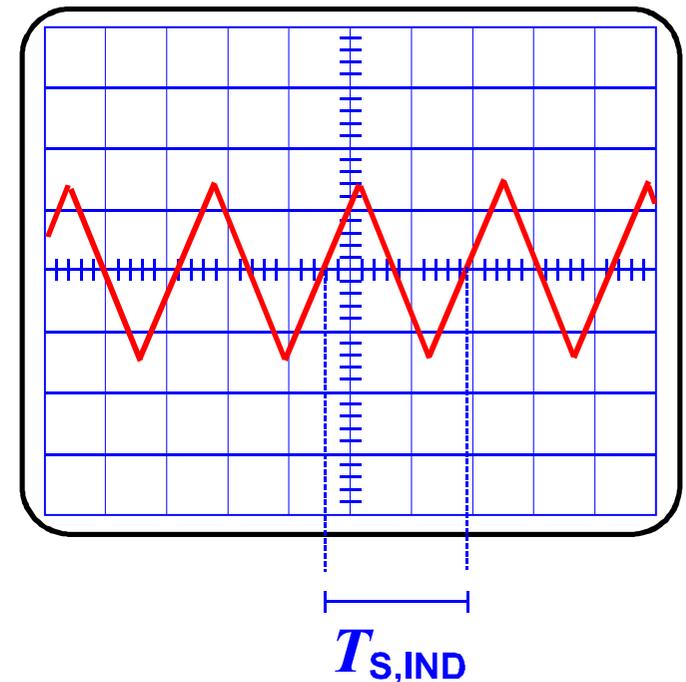
Messung der Periodendauer

Volle Schwingung - kleinste Zeitspanne zwischen zwei Ereignisse gleicher Phase, die sich periodisch wiederholen (i.Allg. mindestens zwei Nulldurchgänge).

$$T_S = k_{\text{SCALE},t} \cdot T_{S,\text{IND}}$$

Es tritt das Problem auf, die Punkte gleicher Phase (Start-/Stop-Ereignisse) hinreichend genau zu ermitteln.

Verminderung der Unsicherheit bei der Einschätzung der Punkte gleicher Phase durch Ausmessen der Zeitspanne mehrerer sichtbaren Perioden.



Modell der Auswertung

$$T_S = k_{\text{SCALE},t} \cdot \frac{1}{n} \cdot (T_{\text{IND},n} + \delta t_{\text{STOP}} - \delta t_{\text{START}})$$

Die möglichen Abweichungen δT_{START} , δT_{STOP} aufgrund der unsicheren Einschätzung der Punkte gleicher Phase verringern sich um den Faktor $1/n$ und damit in dem gleichen Maße die hierauf basierende maximal zulässige Messabweichung

$$\Delta T_{S,\text{MPE}} = 2 \cdot k_{\text{SCALE},t} \cdot \frac{\Delta t_{\text{MPE}}}{n}$$

BEISPIEL Periodendauer-Messung

Maximal zulässige Abweichung aufgrund der Ausdehnung des Leuchtpunktes und der Auflösung der Bildschirm-Skalenteilung **0,5 Div**

Angezeigte Zeitspanne für 3 Perioden $T_{\text{IND},3} = (93 \pm 1,0) \text{ Div}$;

Skalenkonstante $k_{\text{SCALE}} = 2,5 \mu\text{s/Div}$ (cal);

Periodendauer $T = 2,5 \mu\text{s/Div} \cdot (93 \pm 1,0) \text{ Div}/3$
 $= 77,5 \mu\text{s} \cdot (1 \pm 0,01)$;

Frequenz $f = 1/77,5 \mu\text{s}^{-1} \cdot (1 \pm 0,01)$
 $= 12,90 \text{ kHz} \cdot (1 \pm 0,01)$;

Kalibrierung der Anzeige

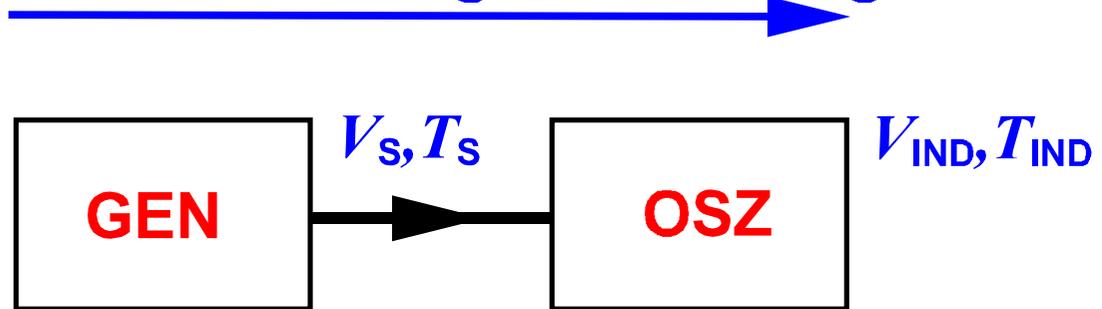
Ermittlung der Werte der Skalenfaktoren (Gerätekonstanten)

- Spannungsablenkfaktoren;
- Zeitablenkfaktoren.

$$V_{S,AMP} = k_{SCALE,V} \cdot V_{IND}$$

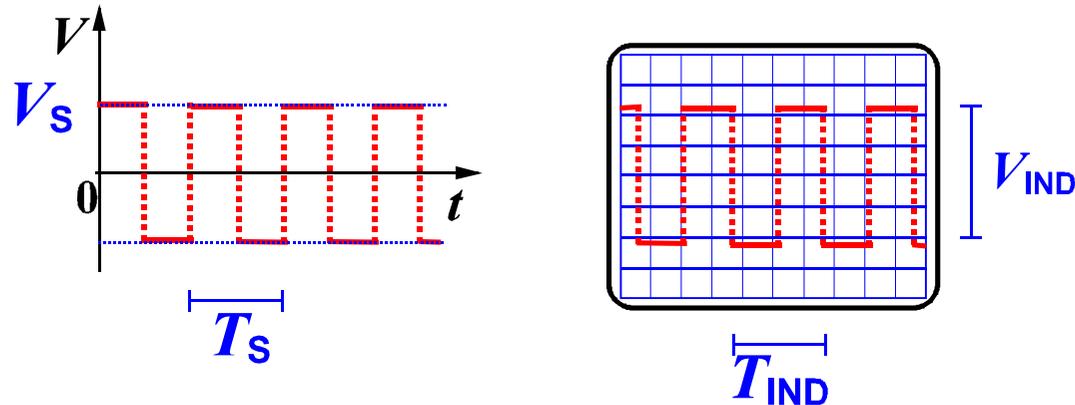
$$T_S = k_{SCALE,t} \cdot T_{IND}$$

Ursache-Wirkung-Ausbreitung



Schematische Darstellung der Kalibrierung eines Oszilloskops. Von dem Generator (Messwertgeber) wird ein bekanntes Signal (Form, Amplitude V_S , Periodendauer T_S) bereitgestellt und aus der auf Oszilloskop beobachteten Amplitude V_{IND} und Periodendauer T_{IND} auf die Skalenkonstanten zurückgeschlossen.

Man verwendet einen Generator, der eine rechteck-förmige Wechselspannung erzeugt (i.Allg. im Oszilloskop eingebaut)



Kalibrieren - Ermittlung des Wertes eines messbaren Gerätemerkmales in Bezug auf den richtigen Wert (Einheitensystem, Rückführung) - Momentaufnahme.

Eichen - Feststellen, ob der Wert eines messbaren Gerätemerkmales innerhalb vorgeschriebener Grenzen liegt. Die Grenzen sind so gewählt, dass der Schutz des Verbrauchers auch unter rauher Anwendung des Gerätes und bei Anwendung durch messtechnisch wenig vorgebildetes gewährleistet ist.