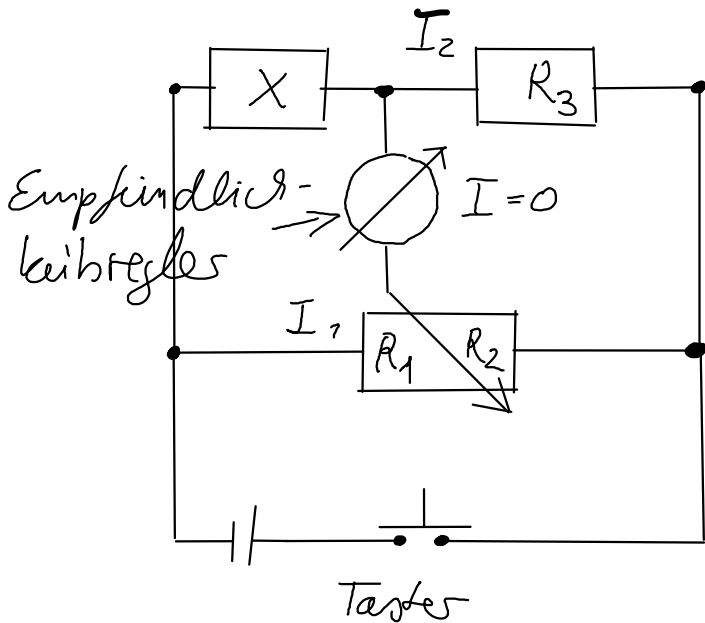


P2-51,52: Widerstandskennlinien und ihre Temperaturabhängigkeit

Vorbereitung: Sascha Meißner, Arnold Seiler

1. R(T)-Abhängigkeit eines Halbleiterwiderstandes

Wheatstone - Brückenschaltung:



$$\frac{X}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$$

oder:

$$I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot X$$

$$I_1 \cdot R_2 = I_2 \cdot R_3$$

$$X = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

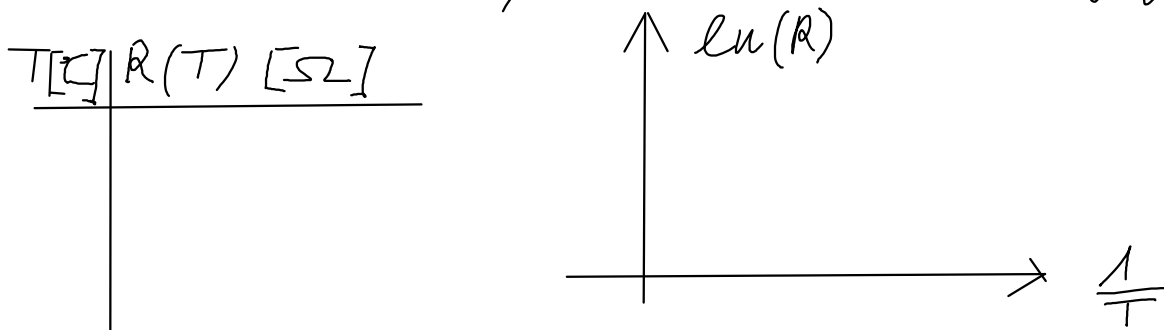
Man misst $X(T)$ bei $T \in [22^\circ\text{C}, 200^\circ\text{C}]$ mit Hilfe obiger Schaltung.

Bestimmung des Koeffizienten a, b :

$$R = a \cdot \exp\left(\frac{b}{T}\right)$$

$$\ln(R(T)) = \frac{b}{T} + \ln(a)$$

$$x = \frac{1}{T} \Rightarrow \ln\left(R\left(\frac{1}{x}\right)\right) = b \cdot x + \ln(a) \stackrel{!}{=} f(y) = my + c$$



Verwendung von Heißleitern (NTC-Widerstände):

Temperaturmessung:

$$T = \frac{b}{\ln\left(\frac{R}{a}\right)}$$

So kann man aus R des Heißleiters die Temperatur T bestimmen. Hierzu sind Halbleiter gut geeignet, weil ihr Widerstand R stark temperaturabhängig ist.

Füllstandanzeige:

Ein Strom I fließt durch den NTC, der sich dadurch erwärmt. Der Widerstand R wird kleiner. Steigt eine Flüssigkeit an den NTC, kühlt dieser ab und R wird größer.

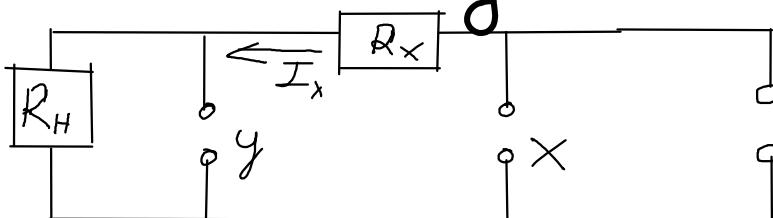
Strombegrenzung:

Man den NTC parallel zu dem Bauteil, das zu schützen ist. Fließt ein zu großer Strom I wird der Widerstand R des NTC wärmer, leitet besser, somit fließt I hauptsächlich durch den NTC.

2.1 $I(U)$ -Abhängigkeit eines Edelmetallwiderstandes

Mit der Halbwellschaltung für den Oszilloskopfen untersucht man ob die $I(U)$ -Abhängigkeit einen beobachtbaren Effekt bewirkt.

Halbwellschaltung:



\sim Halbwellenspannung
 R_x : gemessenes Wid.
 R_H : zur Messung von I

$$I_x = \frac{R_H}{U}$$



Oszilloskopgraph:

$$I = m \cdot U + c$$

$$R_x = \frac{1-c}{m}$$

Eigenschaft des Oszilloskops: empfindlichkeit:

Messung von mögl. genauen Wechselspannungen.

2.2. Kaltwiderstand einer 60W-Gleichlampe (Wolfram)

$$P = U \cdot I \quad U = R \cdot I \quad \text{Watt} = \frac{J}{s} \quad V = \frac{J}{C}$$
$$= R \cdot I^2$$
$$= \frac{U^2}{R}$$

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220V)^2}{60W} \approx 807 \quad \Omega$$

Vergleich mit dem Messwert des Ohmmeters.

Der stark überhöhte Einschaltstrom schaltet die Gleichlampe nicht, weil sie sich nicht sofort erwärmt und der Widerstand R steigt.

2.3 Kaltwiderstand einer 50W-Kohlelampe

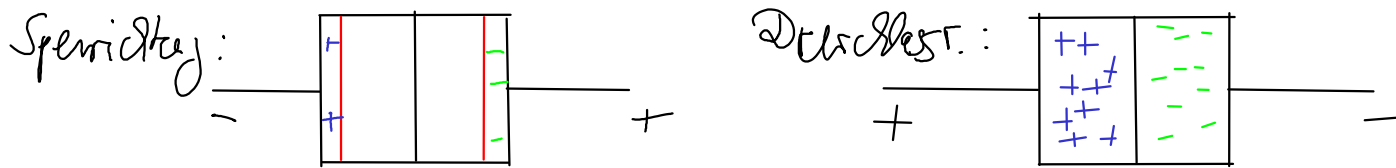
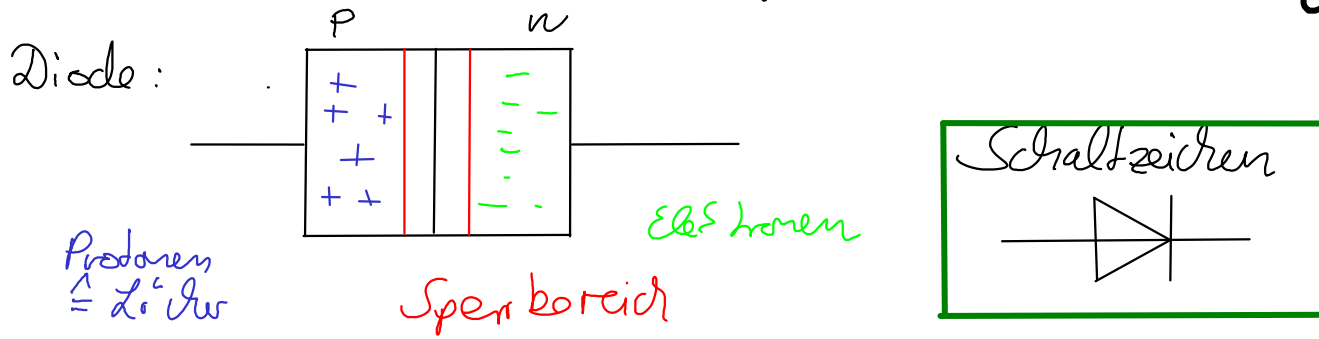
$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{(220V)^2}{50W} = 968 \quad \Omega$$

Kohlelampe und bei gleicher Leistung P dem Glühlampe als eine entspr. Glühlampe. Das Kohlelampe ist kälter als die Glühlampe. Die Kohlelampe strahlt mehr im nicht sichtbaren Bereich ab.

3. I(U)-Abhängigkeit bei 22°C mit dem Oszilloskop

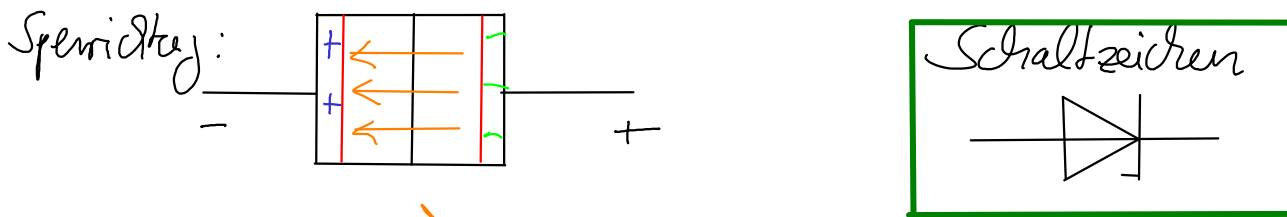
Für alle Messungen wird die Halbwelleuschaltung verwendet.
Es werden Halbwellen verwendet und eine symmetrische Wechselspannung.

3.1 (SID) Siliziumdiode in Sperr- und Durchlassrichtung



Erst ab einer Spannung von ca. 0,7V wird die SID leiten und hat einen geringen Widerstand in Durchlassrichtung. In Sperrrichtung ist kein Strom zu erwarten.

3.2 (ZED) Zenerdiode in Sperr- und Durchlassrichtung



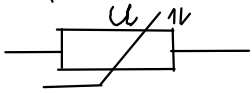
Im Sperrrichtung tritt ein \vec{E} -Feld in der Sperrrichtung auf. Ab einer Feldstärke von ca. $20 \frac{V}{\mu m}$ (sehr stark) können Valenzelektronen der Atome lösen und die ZED wird leitfähig. Bauartbedingt kann dies zw. 2-600V Spannung auftreten. (Der Effekt lässt sich auch thermisch bei ca. 125°C beobachten)

3.3 (VED) Germaniumdiode in Sperr- und Durchlassrichtung

Funktioniert prinzipiell wie eine SID, die Schwellspannung liegt bereits bei 0,3V (Durchlassrichtung). Der Widerstand ist aber größer als bei einer SID. In Sperrichtung könnte ein Strom beobachtbar sein (sehr kleiner I).

3.4 (VDR) Varistor in beiden Richtungen

Schaltzeichen:



(voltage dependent resistor) spannungsabhängige Widerstände. Mit zunehmender Spannung sinkt der Widerstand.

$$U = C \cdot I^\beta$$

β : Regelfaktor

C: Konstante (abhängig von Abmessungen)

zu 3. Warum Halbwellen?

Bei Gleichspannung würden sich die Bauelemente erwärmen.

Bei Wechselspannung kann man mit dem Oszilloskop im x,y-Betrieb I über U auftragen.

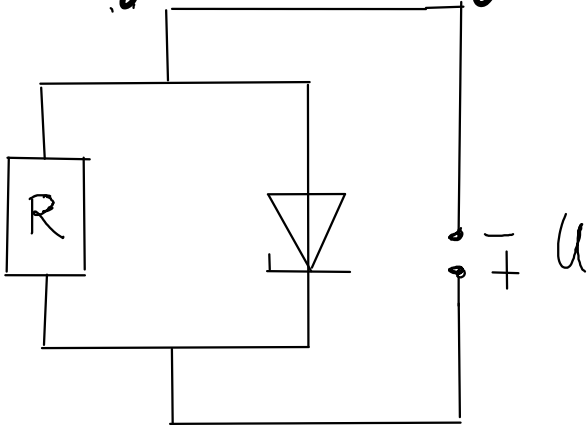
Um die Sperr- und Durchlassrichtung getrennt messen zu können verwendet man Halbwellen, da bei einer symmetrischen Wechselspannung beide Zustände auftreten. Man möchte verschiedene Spannungskriterien verwenden für Sperr- bzw. Durchlassrichtung.

Die ZED würde sich zu stark erwärmen bei Wechselspannung (konst. inner Spannung), wenn die Durchbruchspannung erreicht ist.

a) Wahl des Arbeitswiderstandes (Lastwiderstand)

Der Arbeitswiderstand darf nicht zu groß gewählt werden, sodass alle Spannung dort abfällt und nicht an den Dioden.

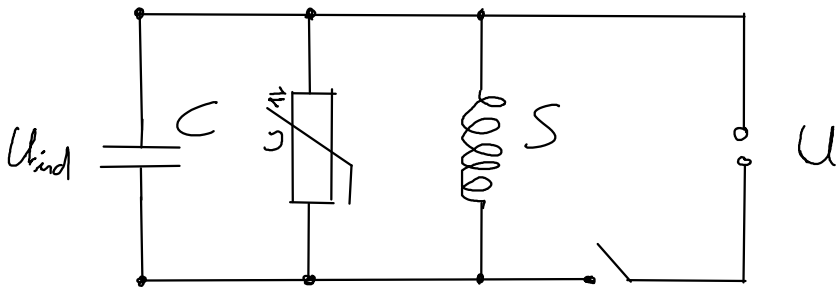
b) Spannungstabilisierung mit einer (ZED)



Wenn die Durchbruchspannung der ZED erreicht wird, wird sie leitfähig, lässt mehr durch.

d) Varistor als Schutz gegen U_{ind} an geschalteten Induktivitäten

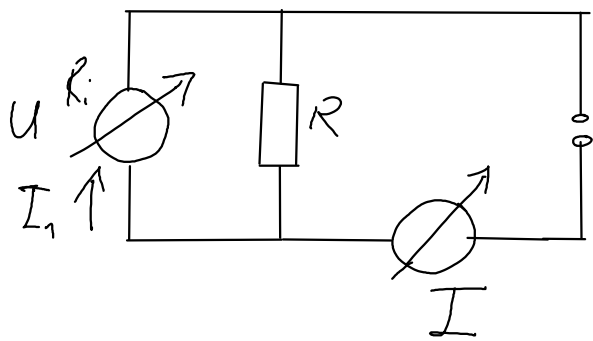
z. B.:



Ist die induzierte Spannung U_{ind} zu groß für C so ist der Widerstand des Varistors gering und die meiste Spannung fällt an ihm ab.

4. Messung der $I(U)$ -Abhängigkeit des Varistors durch punktweises Strom- bzw. Spannungsmessen

Einfluss der endlichen Instrumenteninnenwiderstände:
Spannungsrichtige Schaltung



$$I_1 = \frac{U}{R_i} \quad R_i = 10 \text{ M}\Omega$$

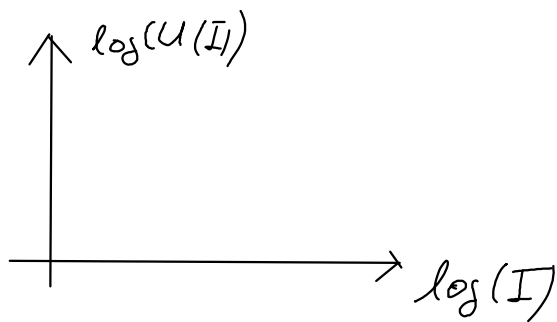
(Verstärker Multimeter)

$$I_{\text{ges}} = I - I_1$$

Das Spannungsmessgerät verfälscht das Ergebnis des Strommessgerätes.

Bestimmung des Koeffizienten b, c : $U = c \cdot I^b$

$$\log(U) = \log(c) + b \log(I)$$



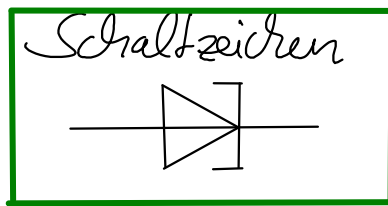
$$f(x) = mx + c$$
$$\stackrel{!}{=} \log(U) = b \log(I) + \log(c)$$

Vor- und Nachteile der Messmethoden aus 3.4 und 4:

Mit dem Oszilloskop hat man sofort einen Überblick über den Verlauf (graphisch) der Abhängigkeit. Bei der punktweisen Messung erhält man genauere Messergebnisse, die man erst auswerten muss.

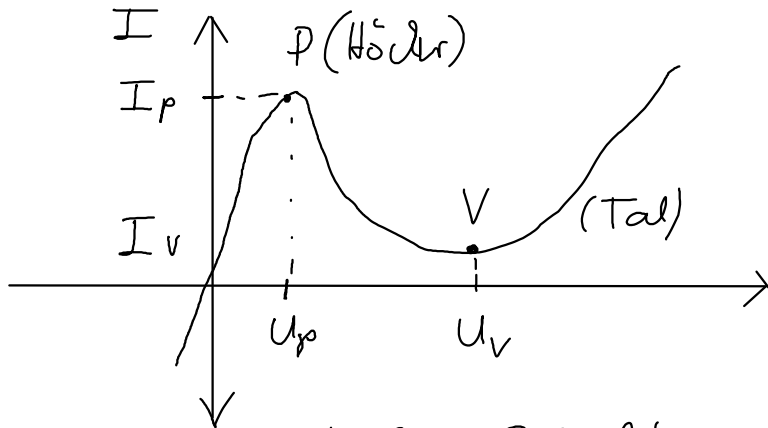
5.1 I(U)-Abhängigkeit eines Tunneldiode

Tunnel diode:



(RCA BD3)

Die Sperrschicht der Diode ist sehr dünn, sodass Elektronen mit einem bestimmten Energieniveau durch sie hindurch tunneln können. Deshalb ist die Diode schon bei geringer Spannung leitfähig. Bei höheren Spannungen nimmt der Tunnel effekt wieder ab und die Diode funktioniert wieder wie eine normale Diode.



$$I_p = 100 \mu A$$

$$U_p = 0,05 V$$

$$I_v = 10 \mu A$$

$$U_v = 0,3 V$$

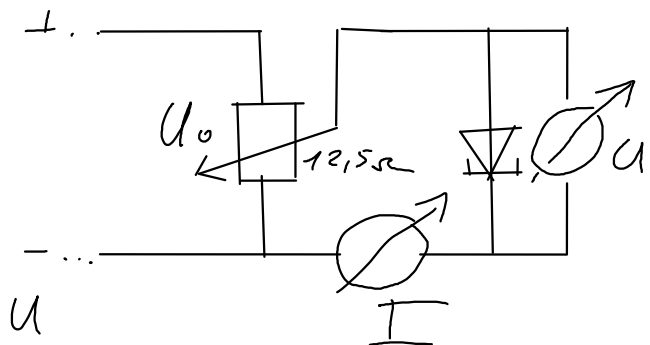
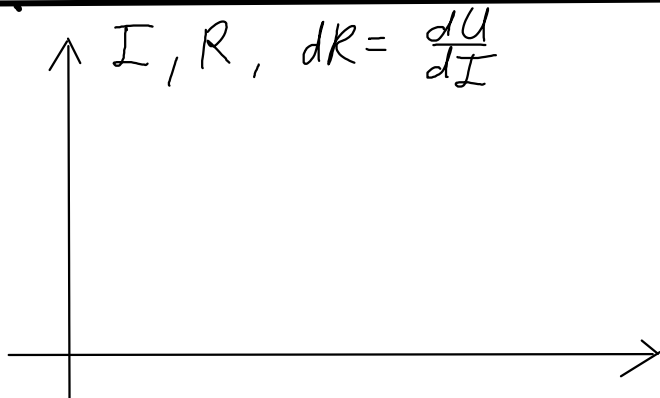
Spannungsteiler - Schaltung:

I soll $200 \mu A$ nicht übersteigen ($0,2 mA$)

Strommessung: $300 \mu A$ - Bereich Multizet-Instrument

Tunnel dioden I-U-Kennlinie

$$R_{i1} = 600 \Omega$$



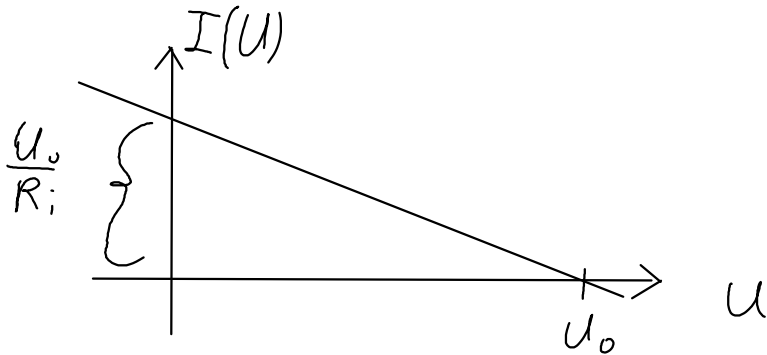
U von 0 an steigern.

5.2 Sprungverhalten des Stroms

Strommessinstrument: $100\mu\text{A}$ -Bereich $R_{i2} = 1700\Omega$

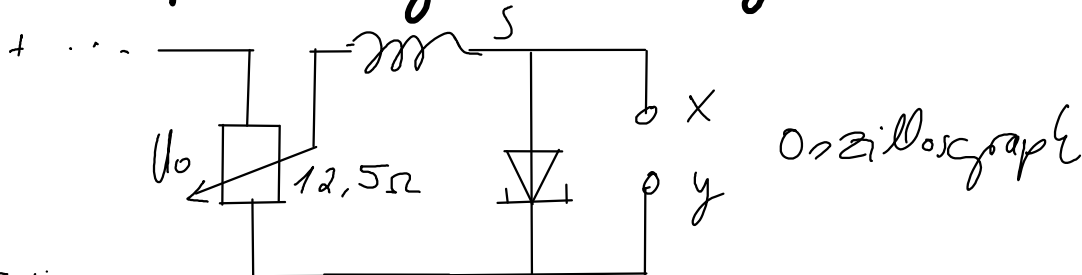
Arbeitsgeraden: $I(U) = (U_0 - U) \cdot \frac{1}{R_{i2}}$ (auch für R_{i1})

U_0 am Spannungsteiler



Der Spannungsteiler ist niederohmig und die Tunneldiode hochohmig.

5.3 Spannungsüberhöhung



U_0 am Spannungsteiler erhöhen

Es entstehen Schwingungen oberhalb der Höckerspannung U_p .