

Versuchsvorbereitung, Meßwerte und Versuchsauswertung zum Versuch 403 – Praktikum Meßtechnik

5.1

Mittelwert, Gleichrichtwert, Effektivwert, Formfaktor und Spitzenwert

Ein zeitlich veränderliches Signal $x(t)$ hat den linearen **Mittelwert** $\overline{x(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$.

Dieser Mittelwert entspricht dem Gleichanteil des Signals. Ist der Mittelwert null, so liegt ein reines Wechsignal vor.

Wird das Signal vor der Mittelung erst gleichgerichtet, d.h., wird der Betrag gebildet, so erhält man den **Gleichrichtwert** $\overline{|x(t)|} = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt$.

Der quadratische Mittelwert $\overline{x^2(t)}$ ist der Mittelwert aus dem quadratischen Signal, $\overline{x^2(t)} = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt$.

Die Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert gibt den **Effektivwert** $X_{eff} = X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$

Der **Formfaktor** errechnet sich aus folgender Beziehung $\text{Formfaktor} = \frac{\text{Effektivwert}}{\text{Gleichrichtwert}}$.

Einige wichtige Werte:

Sinus: 1,11 Rechteck: 1 Dreieck: 1,15

Der **Spitzenwert** einer Spannung oder eines Stromes gibt immer den Wert an, der vom Nullpunkt aus betrachtet den größten Wert annimmt. Dabei ist es egal ob es sich um Gleich- oder Wechselgrößen handelt.

Diodenkennlinie

Eine Halbleiterdiode ist ein Bauelement mit einem p- und einem n-leitenden Bereich und kann aus Si, Ge, Cu₂O oder Se als Grundmaterial bestehen. Der Anschluß an das p-Gebiet wird als Anode, der an das n-Gebiet als Kathode bezeichnet. Zwischen beiden Bereichen bildet sich die etwa 0,1 bis 1 µm dicke Sperrschicht aus.

In Dioden fließt ein Strom im wesentlichen nur in Durchlaßrichtung von der Anode A zur Kathode K. Liegt zwischen Anode und Kathode die Spannung U_{AK} , so entsteht der Strom I_{AK} ,

$I_{AK} = I_S(T)(e^{e_0 U_{AK} / kT} - 1)$ mit:

$I_S(T)$... der von der Temperatur abhängende Strom in Sperrichtung (Sperrstrom). Er verdoppelt sich etwa bei einer Temperaturerhöhung um 10 K.

e_0 ... Elementarladung ($1,6 \cdot 10^{-19}$ As)

k ... Boltzmann-Konstante ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Js/K)

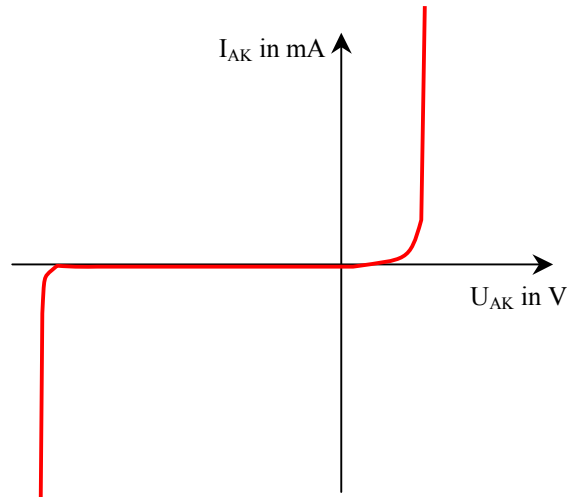
T ... Sperrschichttemperatur in K.

Die Kennlinie der realen Diode weicht von der allgemeinen Gleichung (siehe oben) insoweit ab, als der Term kT/e_0 noch mit einem empirischen Faktor zwischen 1,1 und 2,0 zu multiplizieren ist. Bei Cu₂O steigt der Strom mit der anliegenden Spannung sehr schnell an, während bei Si erst eine Schwellspannung von etwa 0,7 V überwunden werden muß.

Bei einer in Sperrschicht gepolten Diode (U_{AK} ist negativ) strebt der Wert der e-Funktion gegen null, und lediglich der Sperrstrom I_S fließt $I_{AK} = -I_S(T)$; $I_{KA} = I_S(T)$, der bei Silizium-Dioden etwa 10^{-9} A bei Germanium-Dioden etwa 10^{-6} A beträgt.

Die Diode läßt also praktisch nur einen Strom in Vorwärtsrichtung entstehen. Liegt die Diode an einer Wechselspannung, so ist sie während der positiven Halbwelle für den Strom durchlässig und unterdrückt ihn während der in die Sperrichtung fallenden Halbwelle. Ein pulsierender Gleichstrom entsteht.

Wird die Spannung in Sperrichtung zu groß, so steigt der Sperrstrom plötzlich sehr steil an. Die Diode wird zerstört und soll dementsprechend nur bei geringen Spannungen betrieben werden. Bei Si-Dioden sind in Sperrichtung höhere Spannungen als bei Cu₂O- oder Se-Dioden zulässig. Darüber hinaus erlauben Si-Dioden in Durchlaßrichtung auch höhere Stromdichten und werden so zunehmend für Gleichrichterschaltungen eingesetzt.



5.2

$$i_1 + i_2 = 0$$

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_4}{R_g} = 0$$

$$U_4 = -\left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}\right) \cdot R_g$$

Messungen

Bei allen Messungen wurden folgende Geräte verwendet:

1. Hameg Power Supply:
für die Betriebsspannung des OP's, für alle Eingangssignale die mit einer Frequenz f schwingen sollten
2. Pantam-Konstanter:
Für alle Eingangssignale die reine Gleichspannungen sein sollten

6.1

verwendete Meßgeräte: NF-Multimeter MetraHit 12S, Voltcraft HC-5050DB

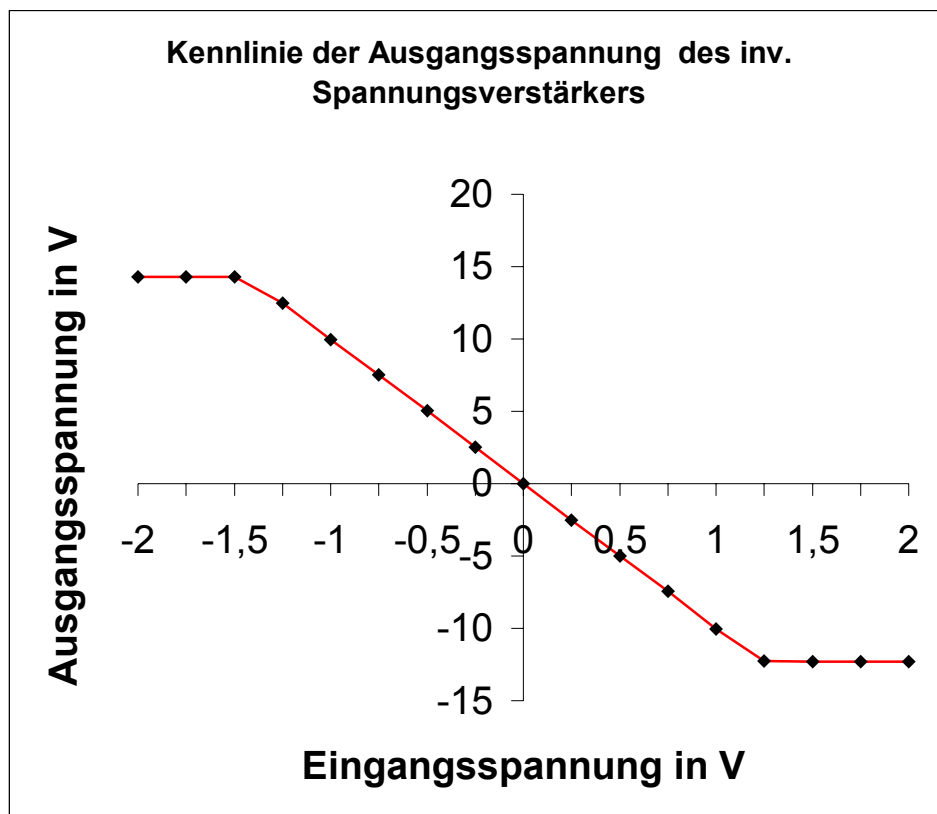
zu a)

$$R_1 = R_E = 10 \text{ k}\Omega; \quad V_B = -10$$

$$V_B = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = -V_B \cdot R_1 = -(-10 \cdot 10 \text{ k}\Omega) = 100 \text{ k}\Omega$$

zu b)

U_1 in V	U_2 in V
-2,00	14,28
-1,75	14,28
-1,50	14,28
-1,35	13,59
-1,25	12,48
-1,15	11,51
-1,00	9,95
-0,75	7,50
-0,50	5,04
-0,25	2,51
0	0
0,25	-2,54
0,50	-4,98
0,75	-7,42
1,00	-10,04
1,15	-11,51
1,25	-12,25
1,35	-12,29
1,50	-12,30
1,75	-12,30
2,00	-12,30



zu c)

Eine Kompensation war nicht nötig, da die Kennlinie durch den Ursprung ging.

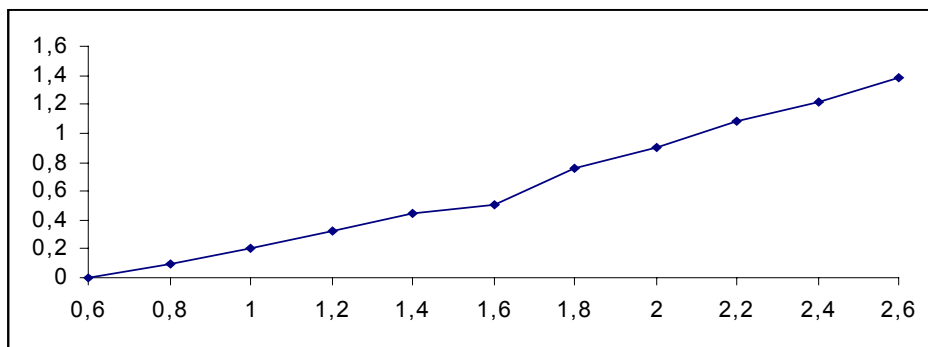
6.2

zu a)

Aufnahme der Kennlinie $U_M = F(\hat{u}_1)$: die Frequenz wurde auf 200 Hz eingestellt

\hat{u}_1 in V	U_M in V	Formfaktor F
0 – 0,5	0	---
0,6	0,004	10,61
0,7	0,006	8,25
0,8	0,100	5,66
0,9	0,150	4,24
1,0	0,200	3,54
1,1	0,260	2,99
1,2	0,330	2,57
1,4	0,440	2,25
1,6	0,510	2,22
1,8	0,760	1,67
2,0	0,900	1,57
2,2	1,080	1,44
2,4	1,210	1,40
2,6	1,380	1,33

Kennlinie: $U_M = f(\hat{u}_1)$



zu b)

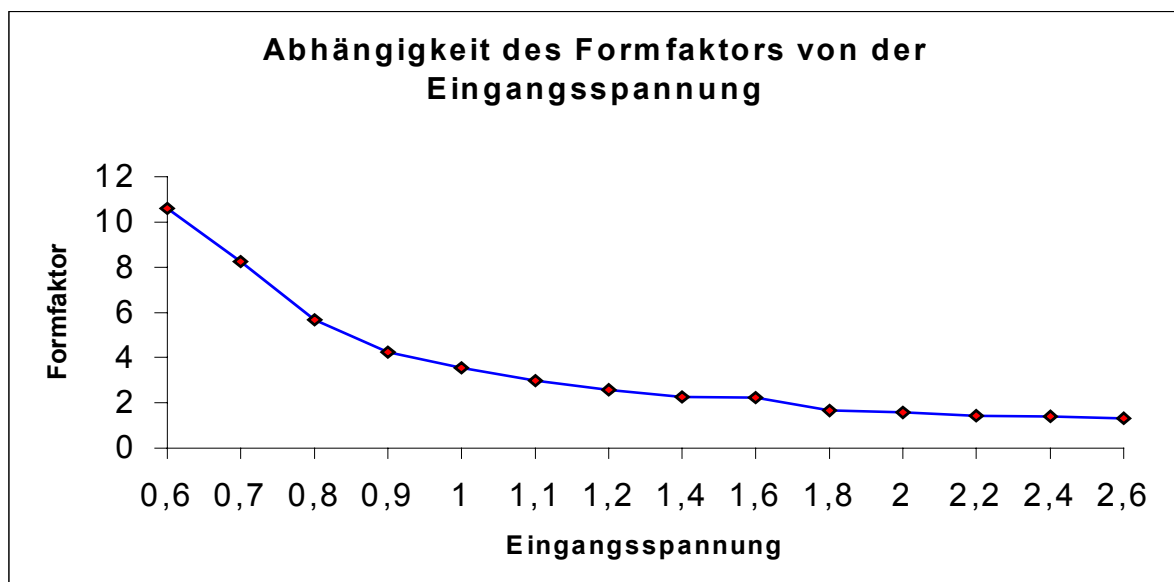
Aufnahme der Spannungsverläufe am Oszilloskop bei folgenden Werten von \hat{u}_1 :

$\hat{u}_{1a} = 1\text{V}$; $\hat{u}_{1b} = 2\text{V}$

Oszillosgramme siehe Anhang

zu c)

Diagramm $F=f(\hat{u}_1)$; $F = \frac{\hat{u}_1}{\sqrt{2} U_M}$ errechnete Werte siehe bei a)



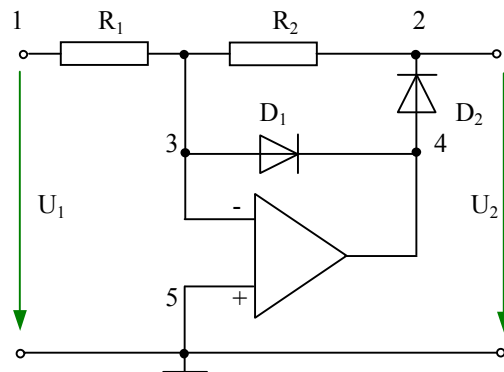
Bei dieser Einweggleichrichterschaltung ist die dem Meßgerät vorgeschaltete Diode D_1 , die es dem Meßgerät ermöglicht auch Wechselgrößen zu messen, zu berücksichtigen. An der Diode fällt nämlich auch eine Spannung ab, die sog. Schwellenspannung. Bei dieser Diode müssen erst 0,6 V überschritten werden um am Meßgerät eine Spannung ablesen zu können. Auch ist hier die gekrümmte Diodenkennlinie zu berücksichtigen, da die Diode ein differentieller Widerstand ist. Sie führt zu einem exponentiell ansteigenden Strom bei steigender Eingangsspannung \hat{u}_1 , dem der Zeiger des Meßgeräts proportional folgt. Dieses exponentielle Wachstum schlägt sich somit über die abgelesene Spannung auch auf den Formfaktor nieder.

6.3

zu a)

Bei diesem Typ der Einweggleichrichtung hat die Schleusenspannung der Diode keinen Einfluß auf die Ausgangsspannung und somit auch nicht auf die Spannung die am Meßgerät anliegt. D.h. es werden auch Spannungen unterhalb der Schwellenspannung gleichgerichtet und können somit auch gemessen werden.

zu b)



$$R_1 = R_2$$

Da der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers sehr groß ist und deshalb fast kein Strom in den Eingang hinein fließt, was bedeutet das am Eingangswiderstand auch fast keine Spannung abfällt. Man bezeichnet deshalb den Meßpunkt 3 als virtuellen Nullpunkt, da zwischen ihm und Masse fast kein Potentialunterschied vorhanden ist.

Liegt nun eine positive Eingangsspannung U_1 an so fällt am Widerstand R_1 eine Spannung ab und erzeugt einen Strom. Am invertierten Eingang liegt ein positives Signal an, was zur Folge hat das am Ausgang des OP's ein negatives Signal erscheint. Das Potential am Meßpunkt 4 ist negativer als das Potential am Meßpunkt 3 wodurch ein Strom durch die Diode D_1 fließt welchen einen Spannungsabfall gleich der Schwellenspannung hervorruft. Das Potential am Meßpunkt 2 ist positiver als das am Meßpunkt 4 und damit die Diode D_2 in Sperrrichtung geschaltet. Somit ist die Spannung U_2 Null Volt.

Liegt nun eine negative Eingangsspannung U_1 an so wird durch den Widerstand R_1 wieder ein Strom erzeugt. Aber am invertierten Eingang des OP's liegt nun ein negatives Signal was am Ausgang des OP's ein positives Signal hervorruft. Die Diode D_1 ist nun in Sperrrichtung geschaltet und die Diode D_2 in Durchlassrichtung. Da aber unser virtueller Nullpunkt annähernd 0V haben sollte und U_1 an R_1 abfällt muß laut der Knotenpunktregel $-U_1 = U_2$ an R_2 abfallen. Dies wird erreicht da der OP an seinen Ausgang eine Spannung stellt, die um die Schwellenspannung von D_2 größer ist als U_1 . Die Ausgangsspannung U_2 ist folglich $-U_1$.

6.4

zu a)

Hier handelt es sich um eine ideale Doppelweggleichrichterschaltung, bei der die Spannungsabfälle an den Dioden wie bei der Einweggleichrichtung vom OP kompensiert

werden. Die Schaltung richtet eine Sinusspannung wie auch die Dreiecksspannung gleich. Bei der positiven Halbwelle der Eingangsspannung gelangt diese wieder als positive Halbwelle an den Ausgang ($U_2 = U_1$). Die negative Halbwelle erscheint am Ausgang invertiert ($U_2 = -U_1$). Die Ausgangsspannung ist eine pulsierende Gleichspannung.

zu b)

Im folgenden wird die Spannung am Ausgang der Einweggleichrichterschaltung, also die Spannung die vor R_2 und zwischen Masse abgegriffen wird mit U_{1-a} bezeichnet.

Der erste Teil der Schaltung arbeitet ähnlich der in Aufgabe 6.3-b beschriebenen Einweggleichrichterschaltung. Hier ist nur bei positiver Eingangsspannung U_1 die Spannung $U_{1-a} = -U_1$. Ist die Eingangsspannung $U_1 < 0$ so ist $U_{1-a} = 0V$.

Nach der Einweggleichrichtung ist ein Addierer geschaltet der die Spannungen U_1 und U_{1-a} miteinander addiert. Ist $U_1 > 0$ und somit $U_{1-a} = -U_1$ und beachtet man, dass die Spannung U_{1-a} wegen dem Widerstandsverhältnis R_3/R_2 mit dem Faktor 2 verstärkt wird, so ist die Spannung U_2 wegen dem invertierten Verstärker auch $> 0V$. Man kann sagen $U_2 = U_1$.

Wird die Eingangsspannung $U_1 < 0V$ so ist $U_{1-a} = 0V$ und am Widerstand R_2 kann keine Spannung abfallen. Es wird also nur die negative Halbwelle der Spannung U_1 invertiert und erscheint so am Ausgang als U_2 . Man kann sagen $U_2 = -U_1$.

Nun soll noch gezeigt werden wie sich die Spannung U_2 errechnen läßt:

Mit der Knotenpunktregel erhält man: $i_{R1} + i_{R2} + i_{R3} = 0 \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_{1-a}}{R_2} + \frac{U_2}{R_3} = 0$

Durch Umformen erhält man: $U_2 = -\left(\frac{R_3}{R_1} \cdot U_1 + \frac{R_3}{R_2} \cdot U_{1-a}\right)$

Hier speziell gilt mit: $2 \cdot \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$ und $\frac{R_3}{R_1} = 1 \Rightarrow U_2 = -(U_1 + 2 \cdot U_{1-a})$

6.5

zu a)

Der Operationsverstärker wird hier aufgrund seiner äußeren Beschaltung als Konstantstromquelle verwendet. Ändert nun die Spannung mit der Zeit t ihren Wert, so ändert auch der Strom am Ausgang des OP's seinen Wert mit der Zeit. Wegen der vier Dioden, von denen pro Halbwelle immer zwei in Durchlassrichtung und zwei in Sperrichtung geschaltet sind, zeigt das Meßgerät den gleichgerichteten Strom I_M an. Wird die Skala des Strommessers in Spannungswerte umgezeichnet, so kann man indirekt Spannungen messen.

zu b)

Die angegebene Schaltung läßt sich auf einen nichtinvertierten Spannung/Strom-Verstärker zurückführen.

zu c)

siehe auch bei Punkt 3.3

$$I_R \cdot R = U_R \quad \text{mit } I_R = I_{\max} \quad \text{folgt } R = \frac{\hat{u}_R}{\hat{i}_{\max}}$$

$$\text{Berechnung der jeweiligen Spitzenwerte: } \hat{u}_R = \sqrt{2} \cdot U_1 \quad \text{und} \quad \hat{i}_{\max} = \frac{\bar{I}_{\max} \cdot \pi}{2}$$

Setzt man nun die einzelnen Zahlenwerte ein, so erhält man für R: $R = 900,32\Omega \approx 900\Omega$

zu d)

In der Schaltung mußte der Widerstandswert von R auf $1k\Omega$ erhöht werden um die gegebenen Werte zu erreichen.

6.6

verwendetes Meßgerät: Voltcraft HC-5050DB
in der Schaltung verwendeter Kondensator: 1µF

zu a)

positiver Scheitelwert: 2,38 V

negativer Scheitelwert: -0,53V

(Diode umgedreht!)

zu b)

Der Operationsverstärker wird hier durch die äußere Beschaltung zum Spannungsfolger gemacht. Da der Spannungsverstärker mit $R_1 = 0$ und $R_2 \rightarrow \infty$ gegengekoppelt ist und somit die gesamte Ausgangsspannung des OP's auf den Eingang zurückgeführt wird gilt: $u_a = u_e$. Somit hat auch der Spannungsabfall an der Diode keinen Einfluß auf die Scheitelwertsmessung, da erst nach der Diode zurückgekoppelt wird.

Durch die Richtung mit der die Diode in die Schaltung eingebaut ist, läßt sich der positive bzw. der negative Scheitelwert der Spannung mit dem Meßgerät messen. Da sich der Kondensator C auf den Scheitelwert der anliegenden Spannung auflädt und sich nicht mehr entladen kann, da im Idealfall der Innenwiderstand R_i des Meßgeräts unendlich groß ist. Da aber der Innenwiderstand nicht unendlich groß ist muß die Zeitkonstante viel größer als T_0 sein, da sich sonst der Kondensator schon während der zu messenden Halbwelle über R_i entladen kann. Der Kondensator kann sich erst bei der Halbwelle wieder entladen die von der Diode gesperrt wird.

zu c)

Um den Effektivwert messen zu können muß man das Spannungsmessgerät so umkalibrieren, dass die Anzeige der Scheitelspannung immer mit dem Wert $\frac{1}{\sqrt{2}}$ multipliziert wird.