

# Praktikum Messtechnik

Gruppe 4.3.2-4

## **Versuch:**

407 – Messung von Widerständen, Widerstandsänderungen und  
nichtsinusförmige Spannungen

## **Versuchsdatum:**

09.04.2003

## **Teilnehmer:**

Hornung, Jörg  
Karg, Michael  
Uhl, Michael

Versuchsvorbereitung:**Aufgabe 2: Herleitung der Brückenspannung einer Viertelbrücke**

$$U_B = U_0 \cdot \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \quad (4)$$

aus Bedingungen der Viertelbrücke  $R_1 = R + \Delta R$

$$R \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3 = 0 \Leftrightarrow R_2 \cdot R_3 = R \cdot R_4 \quad \text{folgt:}$$

$$\underline{\underline{U_B}} = U_0 \cdot \frac{(R + \Delta R)R_4 - R \cdot R_4}{(\underbrace{R + \Delta R}_{\Delta R \ll R} + R_2)(R_3 + R_4)} = U_0 \cdot \frac{\Delta R \cdot R_4}{(R + R_2)(R_3 + R_4)}$$

$$U_B = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{R_4}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{R_3}{R} + \frac{R_4}{R}\right)} \right] = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{R_4}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot R_4 \left(\frac{R_3}{R \cdot R_4} + \frac{1}{R}\right)} \right]$$

$$U_B = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{R_3 + R_4}{\underbrace{R \cdot R_4}_{R \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3}}\right)} \right] = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{R_3 + R_4}{R_2 \cdot R_3}\right)} \right]$$

$$U_B = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{R_4}{R \cdot R_4}\right)} \right] = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R}\right)} \right]$$

$$\underline{\underline{U_B}} = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{R + R_2}{R \cdot R_2}\right)} \right] = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot \left[ \frac{1}{\left(1 + \frac{R_2}{R}\right) \cdot \left(\frac{R}{R_2} + 1\right)} \right]$$

**Aufgabe 2.1: Wechselspannung ohne Gleichanteil**

a) sinusförmige Spannung:

$$\underline{\underline{U}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\hat{u} \sin(\omega t))^2 dt} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{0,707 \hat{u}}}$$

$$\underline{\underline{|u|}} = \frac{2}{T} \int_0^{0,5T} \left| \hat{u} \sin(\omega t) \right| dt = \frac{2}{\pi} \hat{u} = \underline{\underline{0,637 \hat{u}}}$$

$$\underline{\underline{F}} = \frac{U}{\underline{\underline{|u|}}} = \frac{0,707 \hat{u}}{0,637 \hat{u}} = \underline{\underline{1,11}}$$

b) rechteckförmige Spannung:

$$\underline{\underline{U}} = \sqrt{\frac{2}{T} \int_0^{0,5T} (\hat{u})^2 dt} = \underline{\underline{\hat{u}}}$$

$$\underline{\underline{|u|}} = \frac{2}{T} \int_0^{0,5T} \left| \hat{u} \right| dt = \underline{\underline{\hat{u}}}$$

$$\underline{\underline{F}} = \frac{U}{\underline{\underline{|u|}}} = \frac{\hat{u}}{\hat{u}} = \underline{\underline{1}}$$

c) dreieckförmige Spannung:

$$\underline{\underline{U}} = \sqrt{\frac{4}{T} \int_0^{0,25T} \left( \frac{\hat{u}}{T} \cdot t \right)^2 dt} = \frac{\hat{u}}{\sqrt{3}} = \underline{\underline{0,577 \hat{u}}}$$

$$\underline{\underline{|u|}} = \frac{4}{T} \int_0^{0,25T} \left| \frac{\hat{u}}{T} \cdot t \right| dt = \frac{\hat{u}}{2} = \underline{\underline{0,5 \hat{u}}}$$

$$\underline{\underline{F}} = \frac{U}{\underline{\underline{|u|}}} = \frac{0,577 \hat{u}}{0,5 \hat{u}} = \underline{\underline{1,15}}$$

**Aufgabe 2.2: Mischspannungen mit Gleichanteil**

	$U$	$U$	$ \bar{u} $	$ \bar{u} $
Bedingung	$U_0 \leq \hat{u}$	$U_0 > \hat{u}$	$U_0 \leq \hat{u}$	$U_0 > \hat{u}$
Sinus	$\sqrt{U_0^2 + \frac{\hat{u}^2}{2}}$	$\sqrt{U_0^2 + \frac{\hat{u}^2}{2}}$	$\frac{2}{\pi} \left[ U_0(\alpha - \pi) - \hat{u} \cos \alpha \right]$ $\alpha = \pi + \arcsin \frac{U_0}{\hat{u}}$	$U_0$
Rechteck	$\sqrt{U_0^2 + \hat{u}^2}$	$\sqrt{U_0^2 + \hat{u}^2}$	$\hat{u}$	$U_0$
Dreieck	$\sqrt{U_0^2 + \frac{\hat{u}^2}{3}}$	$\sqrt{U_0^2 + \frac{\hat{u}^2}{3}}$	$\frac{\hat{u}}{2} \cdot \left( 1 + \frac{U_0^2}{\hat{u}^2} \right)$	$U_0$

Tabelle 1

zu Bild 6 (Gleichspannungsimpulsfolge):

$$U = \hat{u} \sqrt{\frac{T_e}{T}} \quad |\bar{u}| = \hat{u} \quad F = \frac{U}{|\bar{u}|} = \sqrt{\frac{T_e}{T}} \quad C_f = \frac{\hat{u}}{U} = \frac{\hat{u}}{\hat{u} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T}}} = \sqrt{\frac{T}{T_e}}$$

$\frac{T_e}{T}$	0,2	0,4	0,6	0,8	1
$\sqrt{\frac{T_e}{T}}$	0,447	0,632	0,775	0,894	1
$F$	0,447	0,632	0,772	0,984	1
$C_f$	2,236	1,581	1,291	1,118	1

Tabelle 2

## Versuchsdurchführung:

### **Aufgabe 3.1: Messung kleiner Widerstände**

Im Folgenden wurde ein  $10m\Omega$  Normwiderstand mit dem Milliohmmeter „Metrahit 17“ gemessen.

Zuerst wurde ein Schaltungsaufbau nach Bild 7a gewählt. Bei dieser Messung betrug der gemessene Widerstand  $R_{Na} = 51,6m\Omega$ . Der viel zu hohe Widerstand kam zustande, da mit diesem Schaltungsaufbau nicht nur der Widerstand, sondern auch die Leitungen des Spannungsanschlusses mit gemessen wurden.

Anschließend wurde der Schaltungsaufbau nach Bild 7b realisiert. Dieser Aufbau entspricht einem korrekten Vierleiteranschluss. Diese Messung ergab einen Widerstand  $R_{Nb} = 10,1m\Omega$ .

Nun wurde der Widerstand auf der Leiterplatine nach Bild 7c gemessen. Der Widerstand betrug nach dieser Messung:  $R_X = 169m\Omega$ .

Abschließend wurde der Widerstand eines Kupferdrahtes gemessen. Die Länge des Kupferdrahtes betrug 1,39 m, die Querschnittsfläche  $4mm^2$ . Dazu wurden Kelvinklemmen an das jeweilige Ende des Kupferdrahtes angebracht. Das Messgerät zeigte dabei einen Widerstand  $R_{Cu} = 6,35m\Omega$  an.

### **Aufgabe 3.2: Messung an einer Brücke im Ausschlagverfahren**

#### 3.2.1. Viertelbrücke

Die Brückenschaltung wurde nach Bild 8 aufgebaut. Der Widerstand  $R_1$  wurde zunächst auf  $500\Omega$  eingestellt. Anschließend wurde die Brücke so über das Potentiometer abgeglichen, dass das Digitalmultimeter (DMM), welche die Spannung zwischen den Klemmen 2 und 10 anzeigte, eine Spannung von  $0V$  anzeigt. Beim DMM wurde zu diesen Messungen eine Messbereichsauflösung von  $1mV$  gewählt. Nachdem die Brücke abgeglichen war, wurde der

Widerstand  $R_1$  im Bereich von  $-0,6 \leq \frac{\Delta R_1}{R_1} \leq 0,6$  mit einer Schrittweite von  $\frac{\Delta R_1}{R_1} = 0,1$

verändert. Im Bereich von  $-0,15 \leq \frac{\Delta R_1}{R_1} \leq 0,15$  wurde er mit einer Schrittweite von

$\frac{\Delta R_1}{R_1} = 0,05$  verändert. Die Eingangsspannung  $U_0$  zwischen den Klemmen 1 und 12 betrug bei allen Messungen  $10V$ .

Dabei ergab sich folgend Messung:

$\frac{\Delta R_1}{R_1}$	$R_1$ in $\Omega$	$U_B$ in V	$U_0$ in V	$\frac{U_B}{U_0}$
-0,60	200	2,135	10	0,2135
-0,50	250	1,660	10	0,1660
-0,40	300	1,245	10	0,1245
-0,30	350	0,878	10	0,0878
-0,20	400	0,552	10	0,0552
-0,15	425	0,403	10	0,0403
-0,10	450	0,261	10	0,0261
-0,05	475	0,127	10	0,0127
0,00	500	0,000	10	0,0000
0,05	525	-0,121	10	-0,0121
0,10	550	-0,237	10	-0,0237
0,15	575	-0,347	10	-0,0347
0,20	600	-0,453	10	-0,0453
0,30	650	-0,650	10	-0,0650
0,40	700	-0,830	10	-0,0830
0,50	750	-0,847	10	-0,0847
0,60	800	-1,150	10	-0,1150

Tabelle 3

Trägt man die Messwerte in ein Diagramm ein, so erhält man die Brückenkennlinie

$\frac{U_B}{U_0} = f\left(\frac{\Delta R_1}{R_1}\right) \cdot \frac{U_B}{U_0}$  ( $\frac{\Delta R}{R}$  auf der x-Achse,  $\frac{U_B}{U_0}$  auf der y-Achse)

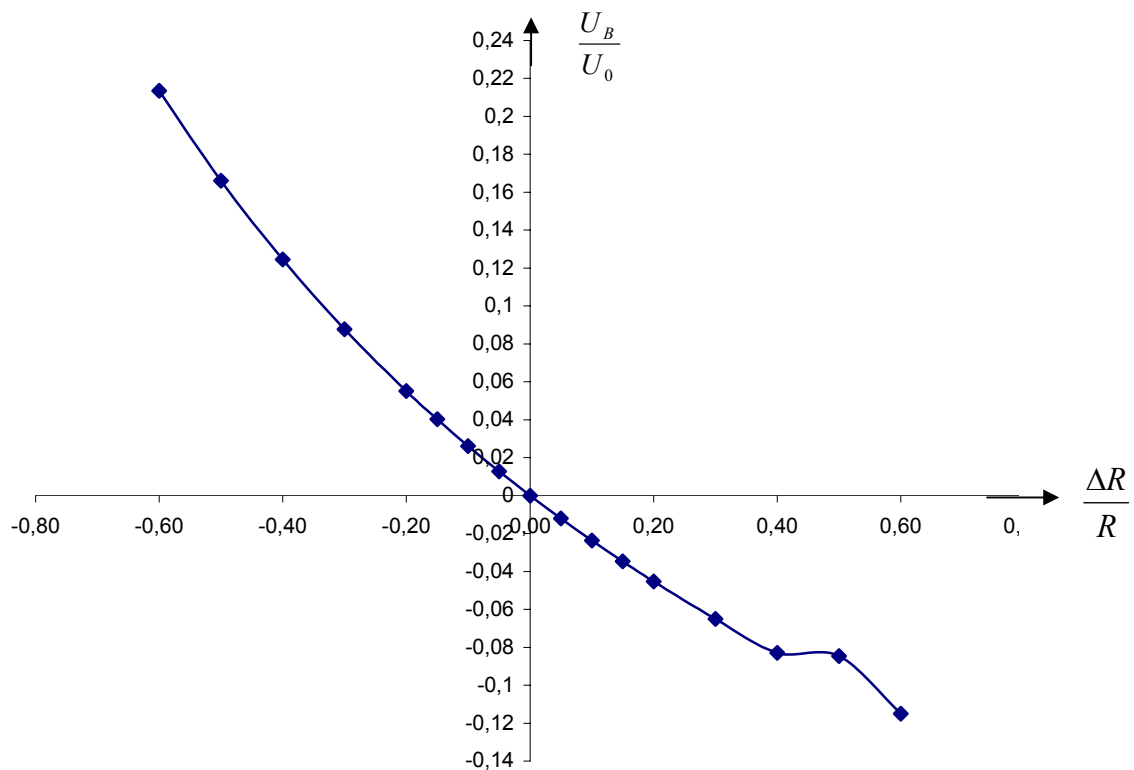


Abbildung 1

3.2.2. Halbbrücke

Die Brückenschaltung wurde nach Bild 9 aufgebaut. Zunächst wurde der Nullabgleich durchgeführt. Dazu wurden die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  auf  $500\Omega$  eingestellt. Nun wurde die Brücke mit dem Potentiometer so abgeblencht, dass das DMM zwischen den Klemmen 1 und 12 eine Spannung von  $0V$  anzeigt. Die Eingangsspannung betrug bei allen folgenden Messungen  $10V$ . Das DMM hatte eine Messbereichsauflösung von  $1mV$ . Die Widerstände wurden bei den Messungen folgendermaßen gegenseitig verändert: im Änderungsbereich  $-0,4 \leq \frac{\Delta R}{R} \leq 0,25$   $R_1 = R + \Delta R$  und  $R_2 = R - \Delta R$  mit einer Schrittweite von  $\frac{\Delta R}{R} = 0,05$ .

Die Messungen ergaben folgende Werte:

$\frac{\Delta R}{R}$	$R_1$ in $\Omega$	$R_2$ in $\Omega$	$U_0$ in $V$	$U_B$ in $V$	$\frac{U_B}{U_0}$
-0,40	300	700	10	1,994	0,1994
-0,35	325	675	10	1,743	0,1743
-0,30	350	650	10	1,494	0,1494
-0,25	375	625	10	1,245	0,1245
-0,20	400	600	10	0,997	0,0997
-0,15	425	575	10	0,745	0,0745
-0,10	450	550	10	0,496	0,0496
-0,05	475	525	10	0,247	0,0247
0,00	500	500	10	0,000	0,0000
0,05	525	475	10	-0,252	-0,0252
0,10	550	450	10	-0,501	-0,0501
0,15	575	425	10	-0,750	-0,0750
0,20	600	400	10	-0,997	-0,0997
0,25	625	375	10	-1,250	-0,1250

Tabelle 4

Trägt man nun die Messwerte in ein Diagramm ein ( $\frac{\Delta R}{R}$  auf der x-Achse,  $\frac{U_B}{U_0}$  auf der y-Achse) so ergibt sich die Brückenkennlinie  $\frac{U_B}{U_0} = f\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$ :

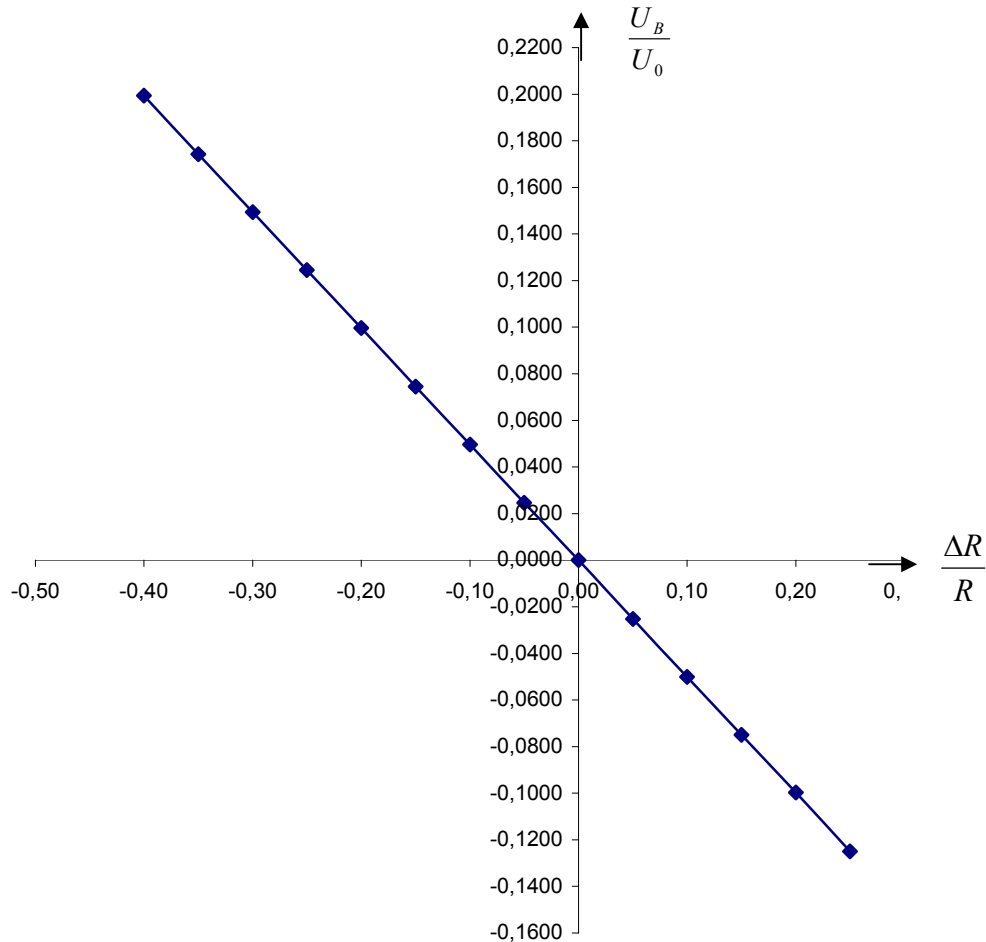


Abbildung 2

### Aufgabe 3.2.3: Untersuchung über Störeinflüsse auf die Brückenspannung

Bei dieser Versuchsreihe wurden Störeinflüsse auf Brückenspannungen simuliert und gemessen. Der Schaltungsaufbau entsprach dabei dem der Aufgabe 3.2.2 (Halbbrücke, Bild 9). Die nutzbare Änderung betrug  $\frac{\Delta R}{R} = 1\%$  ( $5\Omega$ ). Dies simulierte das Nutzsignal. Der

Störeinfluss betrug  $\frac{\Delta R_L}{R} = +1\text{‰}$  ( $+0,5\Omega$ ) pro Zuleitung. Anhand von diesen Vorgaben ergaben sich je nach Brückenart folgende Messungen:



1.) Viertelbrücke in Zweileiterschaltung

Zunächst wurde die Brücke abgeglichen und anschließend folgende Simulationen gemessen:

	$R_1$ in $\Omega$	$R_2$ in $\Omega$	$U_B$ in $mV$
a) Nutzsignal ohne Störung	505	500	-24,61
b) Nutzsignal mit Störung auf beiden Leitungen	506	500	-29,54
c) nur Störung auf beiden Leitungen	501	500	-4,84

Tabelle 5

2.) Viertelbrücke in Dreileiterschaltung

Die Brückenschaltung wurde vor jeder Messung erneut abgeglichen um ein möglichst genaues Messergebnis zu erzielen.

	$R_1$ in $\Omega$	$R_2$ in $\Omega$	$U_B$ in $mV$
d) Nutzsignal ohne Störung	505	500	-24,63
e) Nutzsignal mit Störung auf beiden Leitungen	505,5	500,5	-24,68
f) Nutzsignal mit Störung auf einer Leitung	505,5	500,0	-27,12
g) nur Störung auf beiden Leitungen	500,5	500,5	0,02

Tabelle 6

Bei dieser Messanordnung hat der Leitungswiderstand  $R_{L3}$  keinen Einfluss auf das Messergebnis, da er sich in der Zuleitung des Voltmeters befindet, welches einen Innenwiderstand  $R_i > 10^6 \Omega$  besitzt. Aufgrund dessen macht sich der Leitungswiderstand von  $R_L = 0,5 \Omega$  in dieser Messanordnung nicht bemerkbar.

3.) Halbbrücke

Bei dieser Messanordnung ergaben sich bei den Simulationen folgende Messwerte:

	$R_1$ in $\Omega$	$R_2$ in $\Omega$	$U_B$ in $mV$
h) Nutzsignal ohne Störung	505,0	495,0	-52,82
i) Nutzsignal mit Störung auf beiden Leitungen	505,5	495,5	-52,74
j) Nutzsignal mit Störung auf einer Leitung	505,5	495,0	-55,23

Tabelle 7

**Aufgabe 3.3: Nichtsinusförmige Spannungen**

Der Schalungsaufbau wurde nach Bild 10 vorgenommen. Mit dem Funktionsgenerator wurden dabei verschiedene Spannungsarten erzeugt und an die einzelnen Messgeräte angelegt. Die Frequenz betrug bei allen Spannungsarten  $f = 100\text{Hz}$ , die Amplitude  $\hat{u} = 5\text{V}$  und der Gleichspannungsanteil abwechselnd  $U_0 = 0\text{V}$  bzw.  $U_0 = 3\text{V}$ .

		Theorie			Scopemeter			Thermoumform er
$\hat{u} = 5\text{V}$	$U_0$ in $\text{V}$	$U$ in $\text{V}$	$ \bar{u} $ in $\text{V}$	F	UDC $U_0$ in $\text{V}$	UAC+DC $U_1$ in $\text{V}$	UAC $U_{1AC}$ in $\text{V}$	$U_2$ in $\text{V}$
Sinus	0	3,54	3,18	$1,11$	3,40	3,40	3,40	3,4
	3	4,64	3,78	$1,23$	3,42	4,81	3,39	4,8
Dreieck	0	2,89	2,50	$1,15$	2,76	2,76	2,76	2,8
	3	3,37	3,40	$0,99$	2,80	2,80	4,42	4,4
Rechteck	0	5,00	5,00	$1,00$	5,00	5,00	5,00	5,1
	3	5,83	5,00	$1,17$	6,10	6,10	5,00	6,2

Tabelle 8

		Gleichrichtinstrument			Multimeter (ACV)		
$\hat{u} = 5\text{V}$	$U_0$ in $\text{V}$	$U_3$ in $\text{V}$	$U_{3,theor.}$ in $\text{V}$	K	$U_4$ in $\text{V}$	$U_{4,theor.}$ in $\text{V}$	K
Sinus	0	3,3	3,53	-0,029	3,33	3,53	-0,021
	3	4,3	4,20	-0,106	3,34	3,53	-0,306
Dreieck	0	2,7	2,78	-0,022	2,65	2,76	-0,040
	3	4,2	3,78	0,500	2,68	2,76	-0,043
Rechteck	0	5,4	5,55	0,080	5,54	5,55	0,108
	3	5,6	5,55	-0,082	5,54	5,55	-0,092

Tabelle 9

**Aufgabe 3.4: Gleichspannungsimpulsfolge**

Folgende Messungen wurden mit demselben Versuchsaufbau wie in 3.3 (Nichtsinusförmige Spannungen, Bild 10) durchgeführt. Der Funktionsgenerator lieferte dabei eine Gleichspannungsimpulsfolge, bei der das Tastverhältnis  $\frac{T_e}{T}$  in den Grenzen  $[0,1;0,9]$  mit einer Schrittweite von 0,1 verändert wurde.

Die Frequenz betrug bei allen Messungen  $f = 100\text{Hz}$ , die Amplitude  $\hat{u} = 10\text{V}$

	Scopemeter		Thermoumformer	Gleichrichter	Multimeter
$\frac{T_e}{T}$	UAC+DC in V	UDC in V	$U_2$ in V	$U_3$ in V	$U_4$ in V
0,1	10,09	-8,51	3,4	4,4	3,8
0,2	10,09	-6,99	3,4	4,4	6,6
0,3	10,1	-5,31	3,4	4,4	8,9
0,4	10,12	-3,27	3,4	4,4	10,6
0,5	10,22	-1,36	3,4	4,4	11,3
0,6	10,23	-0,74	3,4	4,4	11,4
0,7	10,23	-0,13	3,4	4,4	11,3
0,8	10,24	1,74	3,4	4,4	11,6
0,9	10,28	7,72	3,4	4,4	4,37

Tabelle 10

In nachfolgend Diagramm werden die Spannungen der oben genannten Messgeräte dargestellt. Auf der x-Achse wurden das Tastverhältnis und auf der y-Achse die Spannungswerte dargestellt.

## Versuchsauswertung

### Aufgabe 4.1: zu 3.1 Messung kleiner Widerstände

Theoretische Widerstand des Kupferdrahtes:

$$\underline{\underline{R_{Theorie} = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0,0172 \frac{\Omega mm^2}{m} \cdot \frac{1,39m}{4mm^2} = 5,98m\Omega}}$$

Relative Abweichung  $a$ :

$$\underline{\underline{a = \frac{R_{Praxis} - R_{Theorie}}{R_{Theorie}} = \frac{5,98m\Omega \cdot 6,35m\Omega}{6,35m\Omega} = 0,0583}}$$

Die relative Abweichung des gemessenen Widerstands zu dessen theoretischen Wert beträgt 6,18%.

### Aufgabe 4.2: zu 3.2 Brücke im Ausschlagverfahren

$\frac{\Delta R}{R}$	$\frac{U_B}{U_0}$ Viertelbrücke	$\frac{U_B}{U_0}$ Halbbrücke	$\frac{U_B}{U_0}$ Näherung
-0,60	0,2135	n.a.	0,1500
-0,50	0,1660	n.a.	0,1250
-0,40	0,1245	0,1994	0,1000
-0,35	n.a.	0,1743	0,0875
-0,30	0,0878	0,1494	0,0750
-0,25	n.a.	0,1245	0,0625
-0,20	0,0552	0,0997	0,0500
-0,15	0,0403	0,0745	0,0375
-0,10	0,0261	0,0496	0,0250
-0,05	0,0127	0,0247	0,0125
0,00	0,0000	0,0000	0,0000
0,05	-0,0121	-0,0252	-0,0125
0,10	-0,0237	-0,0501	-0,0250
0,15	-0,0347	-0,0750	-0,0375
0,20	-0,0453	-0,0997	-0,0500
0,25	n.a.	-0,1250	-0,0625
0,30	-0,0650	n.a.	-0,0750
0,40	-0,0830	n.a.	-0,1000
0,50	-0,0847	n.a.	-0,1250

0,60	-0,1150	n.a.	-0,1500
------	---------	------	---------

Tabelle 11

Die Näherungswerte wurden mit der Näherungsgleichung der Viertelbrücke  $\frac{U_B}{U_0} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$  berechnet.

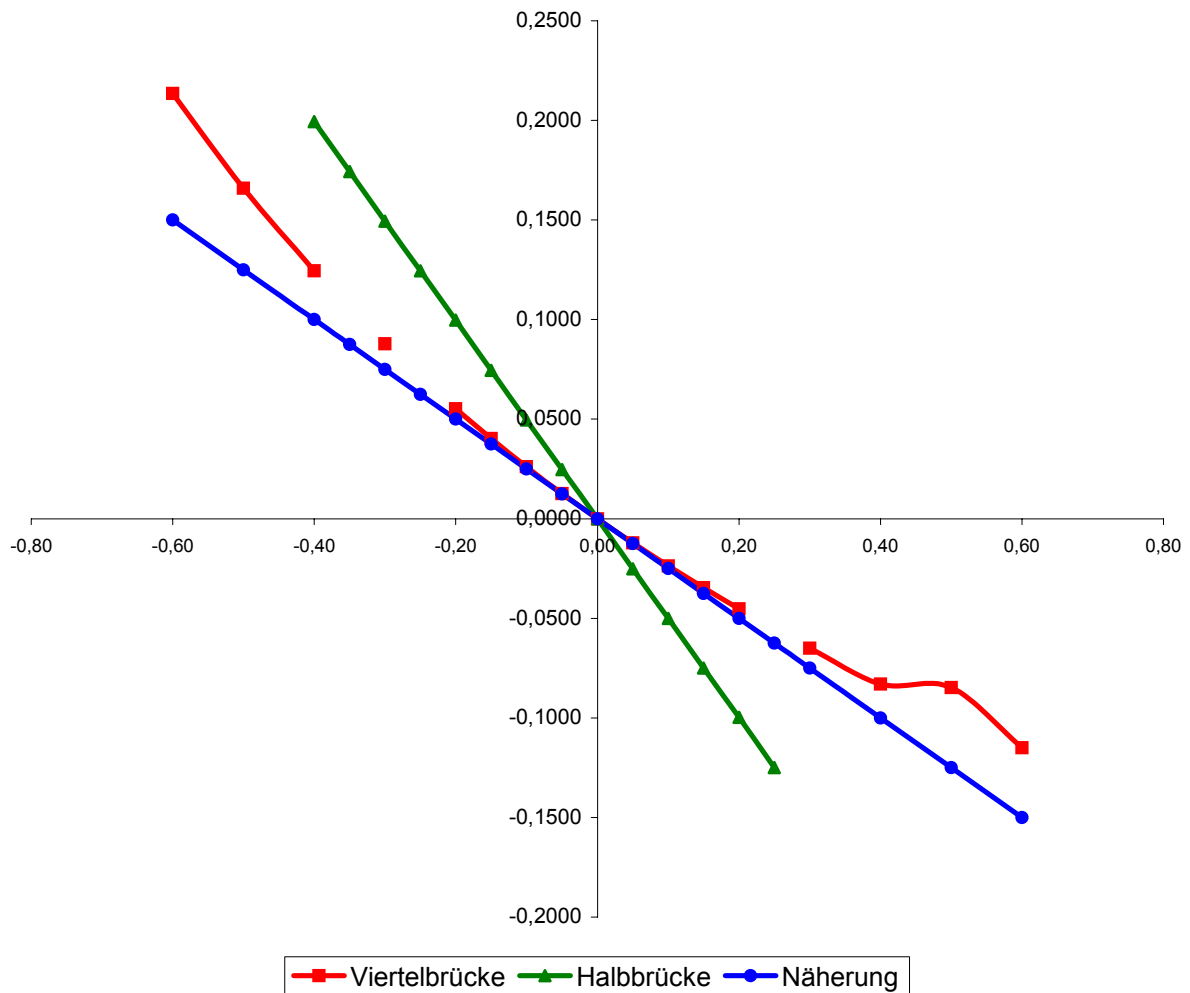


Abbildung 5

In Abbildung 5 sind die Kennlinien der Viertelbrücke, Halbbrücke und die Kennlinie nach der Näherungsgleichung der Viertelbrücke anhand den Werten der Tabelle 11 dargestellt.

Nachfolgend wird der Wert  $\frac{\Delta R}{R}$  berechnet, ab dem die Abweichung der Näherungsgleichung der Viertelbrücke  $\frac{U_B}{U_0} \approx \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R}$  größer als 10% von der exakten Gleichung der Viertelbrücke

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R}}{2 + \frac{\Delta R}{R}} \text{ wird.}$$

$$0,1 \geq \frac{\text{Näherung} - \text{Exakt}}{\text{Exakt}}$$

$$0,1 \geq \frac{\frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} - \frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R}}{2 + \frac{\Delta R}{R}}}{\frac{1}{2} \cdot \frac{\frac{\Delta R}{R}}{2 + \frac{\Delta R}{R}}} \quad \text{Substitution} \quad \frac{\Delta R}{R} = x : \quad \frac{1}{10} \geq \frac{\frac{x}{4} - \frac{x}{4 + 2x}}{\frac{x}{4 + 2x}}$$

$$\frac{x^2 + 2x}{2x + 4} - \frac{1}{10} \geq 0$$

$$\frac{10x^2 + 18x - 4}{20x + 40} \geq 0$$

$$\Rightarrow \frac{Z(x)}{N(x)} \geq 0 \quad \text{für} \quad x \in [0, 2; +\infty[$$

$$\Rightarrow \text{wenn } \frac{\Delta R}{R} \geq 0,2 \quad \text{ist der Fehler } \frac{U_B}{U_0} \geq 10\% .$$

Nun wird rechnerisch hergeleitet, wie sich Störeinflüsse auf die Brückenspannung einer Halbbrücke auswirken:

$$U_B = U_0 \cdot \frac{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$

einsetzen der vorgegebenen Bedingungen ergibt:

$$U_{Bu} = U_0 \cdot \frac{(R + \Delta R)R - (R - \Delta R)R}{(R + \Delta R + R + \Delta R) \cdot 2R} = U_0 \cdot \frac{R^2 + \Delta R \cdot R - R^2 + \Delta R \cdot R}{4R^2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot U_0$$

$$U_{Bs} = U_0 \cdot \frac{(R + \Delta R + \Delta R_s)R - (R - \Delta R + \Delta R_s)R}{(R + \Delta R + \Delta R_s + R - \Delta R + \Delta R_s) \cdot 2R} = U_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R + \Delta R_s}$$

$$\frac{U_{Bs}}{U_{Bu}} = \frac{\Delta R \cdot R}{(R + \Delta R_s) \Delta R} = \frac{R}{(R + \Delta R_s)}$$

Zu Messung 3.2.3

	$U_B$ in mV	Verfälschung des Signals in %
b) Nutzsignal mit Störung auf beiden Leitungen	-24,61	20,03%
e) Nutzsignal mit Störung auf beiden Leitungen	-24,68	0,20%
f) Nutzsignal mit Störung auf einer Leitung	-27,12	10,11%
i) Nutzsignal mit Störung auf beiden Leitungen	-52,74	-0,15%
j) Nutzsignal mit Störung auf einer Leitung	-55,23	4,56%

Tabelle 12

In Tabelle 12 wird die Verfälschung des Nutzsignals in Prozent angegeben.

**Aufgabe 4.3: Nichtsinusförmige Größen**

Siehe Anlage bzw. Aufgabe 3.3 (Seite 9)

**Aufgabe 4.4: Gleichspannungsimpulsfolge**

$\frac{T_e}{T}$	$U = \hat{u} \cdot \sqrt{\frac{T_e}{T}}$ in V	$U_{AC+DC}$ in V	$F = \frac{U}{\overline{ u }}$	$K = \frac{U_{AC+DC} - U}{U}$
0,1	6,3246	10,09	0,3162	0,5954
0,2	8,9443	10,09	0,4472	0,1281
0,3	10,9545	10,10	0,5477	-0,0780
0,4	12,6491	10,12	0,6325	-0,1999
0,5	14,1421	10,22	0,7071	-0,2773
0,6	15,4919	10,23	0,7746	-0,3397
0,7	16,7332	10,23	0,8367	-0,3886
0,8	17,8885	10,24	0,8944	-0,4276
0,9	18,9737	10,28	0,9487	-0,4582

Tabelle 13

In Tabelle 13 ist der theoretische Effektivwert  $U$ , der theoretische Formfaktor  $F$ , die gemessene Spannung  $U_{AC+DC}$  und der daraus errechnete Kurvenformfehler  $K$  in Abhängigkeit vom Tastverhältnis  $\frac{T_e}{T}$  beschrieben.

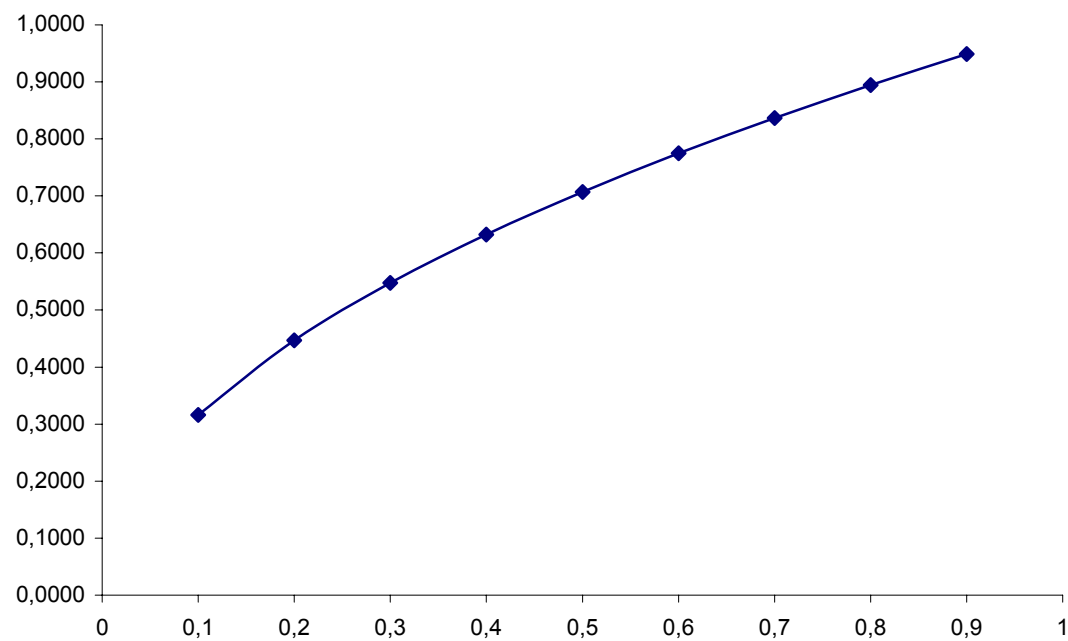


Abbildung 6

Abbildung 6 stellt den Formfaktor  $F$  in Abhängigkeit des Tastverhältnisses  $\frac{T_e}{T}$  dar. Der Formfehler wurde dabei auf der y-Achse und das Tastverhältnis auf der x-Achse aufgetragen.



In Abbildung 7 wurde der Kurvenformfehler in Abhängigkeit des Tastverhältnisses graphisch dargestellt. Das Tastverhältnis wurde wieder auf der x-Achse und der Kurvenformfehler auf der y-Achse aufgetragen.