

Protokoll zur ersten Laborübung

Messtechnik Labor 376.091

DINC Atilla (11917652)

19. Dezember 2023

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Messungen mit dem Digitalmultimeter	2
2.1	Spannungsmessung	2
2.1.1	Messaufbau und Messdurchführung	2
2.1.2	Messergebnisse	3
2.2	Strommessung	4
2.2.1	Messaufbau und Messdurchführung	4
2.2.2	Messergebnisse	4
2.3	Widerstandsmessung	5
2.3.1	Messaufbau und Messdurchführung	5
2.3.2	Messergebnisse	6
3	Messungen mit dem Oszilloskop	8
3.1	Tastkopf	8
3.1.1	Messaufbau und Messdurchführung	8
3.1.2	Messergebnisse	8
3.2	AC-Spannungsmessung	8
3.2.1	Messaufbau und Messdurchführung	9
3.3	RMS im Detail	9
3.3.1	Messaufbau und Messdurchführung	9
3.3.2	Messergebnisse	10
3.4	Amplitudenauflösung	10
3.4.1	Messaufbau und Durchführung	10
3.4.2	Messergebnisse	10
3.5	Dynamik	10
3.6	Einschaltvorgang der Spannungsversorgung	10

Geräteliste				
Bezeichnung	Gerätebeschreibung	Messgrößen	Inventarnummer	Bemerkungen
MM0	Agilent Digitalmultimeter True RMS	-	U1232A	-
MM1	Digitalmultimeter	-	#11	-
MM2	Digitalmultimeter	-	#7	-
NG1	Netzgerät 2-Channel ± 10 mV	-	CD0404-6	-
FG1	Funktionsgenerator	-	SDG1025	-
Zubehörliste				
Bezeichnung	Zubehörbeschreibung	Messgrößen	Inventarnummer	Bemerkungen
K1	Tastkopf (10:1) 100 MHz 10 M Ω 15 pf	-	-	grau
K2	Tastkopf (10:1) 150 MHz 10 M Ω 15 pf	-	-	rot
K3	Tastkopf (10:1) 150 MHz 10 M Ω 15 pf	-	-	rosa

1 Einleitung

2 Messungen mit dem Digitalmultimeter

2.1 Spannungsmessung

Zur Spannungsmessung wird der Spannungseingang des Multimeters parallel zur Messgröße geschaltet, daher ist ein möglichst hoher Innenwiderstand R_i erwünscht. Zur Bestimmung dieses Innenwiderstands R_i sollte eine Serienschaltung mit einem relativ hochohmigen bekannten Widerstand aufgebaut und der Spannungsabfall am Multimeter von diesem abgelesen werden.

Weiters sollte der Einfluss des Multimeters auf die Schaltung gemessen werden, indem der Spannungseingang eines Multimeters des gleichen Modells parallel zum Multimeter angeschlossen wird. Zuletzt sollte eine Messbereichserweiterung durchgeführt werden, indem ein Serienwiderstand bekannter Größe in den Strompfad verbaut und der Spannungsabfall gemessen wird gemessen wird.

2.1.1 Messaufbau und Messdurchführung

Bestimmung des Innenwiderstands

Die eingestellte Spannung des Netzgerätes FG1 wurde mit dem Multimeter MM0 geprüft bevor sie mit der Schaltung belastet wurde. Der Serienwiderstand R_1 wurde mit dem Multimeter MM0 bestimmt. Im Anschluss wurde die Schaltung wie in Abb. 1 angeschlossen. Die angezeigte Spannung am Multimeter MM1 wurde abgelesen und die Eingangsspannung wurde erneut gemessen. Weder die Eingangsspannung, noch die Spannung am Multimeter MM1 haben sich geändert. Somit wurde sichergestellt, dass sowohl Innenwiderstand des Netzgerätes, als auch jegliche Kontaktwiderstände in der Schaltung vernachlässigbar klein für unsere Messungen waren.

Der Kontrollprozess wurde vor allen folgenden Messungen durchgeführt, um die Eingangsspannung möglichst genau zu bestimmen.

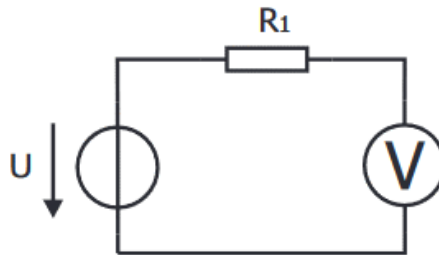


Abbildung 1: Schaltung zur Bestimmung des Multimeter-Innenwiderstands

Bestimmung des Einflusses

Für diese Messung wurde die Eingangsspannung U_q wie zuvor gemessen. Als Widerstand R_M wurde der gleiche Widerstand wie zuvor verwendet und auch und auch das Multimeter MM1 wurde nicht gewechselt, somit konnte die vorherige Schaltung beibehalten und wie in Abbildung 2 erweitert werden. Die Spannungen an den Multimetern wurden zunächst mit nur einem Multimeter MM1 und danach mit beiden Multimetern MM1 und MM2 abgelesen.

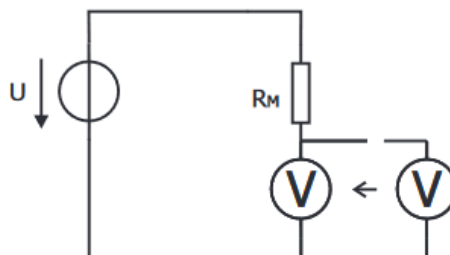


Abbildung 2: Schaltung zur Bestimmung des Einflusses

Messbereichserweiterung

Zur Messbereichserweiterung wurde die Schaltung wie in Abb. 3 aufgebaut. Dabei wurde der Widerstand R_M aus der vorherigen Schaltung und zur Messbereichserweiterung verwendet. Die zu messenden Spannungen in dieser Schaltung ist die Eingangsspannung U_q und sie soll in etwa halbiert werden, indem die Widerstände mit $R_M \approx R_V$ auch in etwa gleich groß gewählt werden.

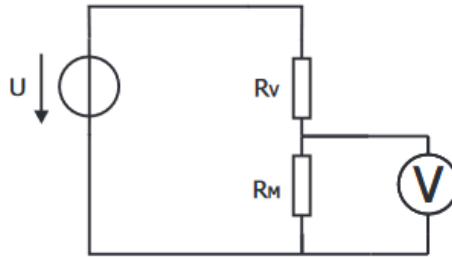


Abbildung 3: Schaltung zur Messbereichserweiterung eines Voltmeters

2.1.2 Messergebnisse

Bestimmung des Innenwiderstands

Die Schaltung wurde mit einer gemessenen Eingangsspannung $U_q = 9,92\text{ V}$ und einem gemessenen Widerstand $R_1 = 98,9\text{ k}\Omega$ aufgebaut. Weiters wurde am Multimeter MM2 die Spannung $U_V = 9,84\text{ V}$ gemessen. Mithilfe der Formel für den Spannungsteiler kann die Gleichung

$$U_V = U_q \frac{R_i}{R_1 + R_i} = U_q \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_i}}$$

aufgestellt werden, woraus sich direkt durch Umformung

$$R_i = \frac{R_1}{\frac{U_q}{U_V} - 1} \approx 12,1647\text{ M}\Omega$$

ergibt.

Bestimmung des Einflusses

Auch bei dieser Messung wurde mit dem Handmultimeter MM0 eine Eingangsspannung $U_q = 9,92\text{ V}$ verifiziert. Der Widerstand wurde wieder zu $R_1 = 98,9\text{ k}\Omega$ gemessen. Damit wurden die Messergebnisse wie in Tabelle 1 aufgenommen. Der Einfluss ergibt sich zur relativen Abweichung

$$\Delta u_{\text{MM1}[\%]} = \frac{9,73\text{ V} - 9,84\text{ V}}{9,84\text{ V}} \cdot 100 \approx -1,12\%.$$

Tabelle 1: Messergebnisse zum Einfluss eines Voltmeters

	U_{MM1}	U_{MM2}
vorher	9,84 V	—
nachher	9,73 V	9,71 V

Messbereichserweiterung

Auch hier wurden die Eingangsspannung $U_q = 9,92\text{ V}$ sowie der Widerstand $R_M = 98,9\text{ k}\Omega$ gemessen. Weiters wurde der Widerstand $R_V = 99,5\text{ k}\Omega$ gemessen. Mit dem gemessenen Spannungsabfall $U_M = 4,93\text{ V}$ kann die Eingangsspannung U_q über das messbereichserweiterte Multimeter gemessen werden. Aus der Maschengleichung folgt direkt

$$U_q = R_V I + U_M = R_V \left(\frac{U_M}{R_M} + \frac{U_M}{R_i} \right) + U_M$$

$$\Rightarrow U_q = U_M \left(1 + \frac{R_V}{R_M} + \frac{R_V}{R_i} \right) \approx 9,93 \text{ V}$$

$$\Rightarrow f_{ME} = \frac{U_q}{U_M} \approx 2,0142$$

2.2 Strommessung

Ähnlich zur Messung mit einem Voltmeter wird auch bei einer Strommessung die Schaltung durch das Amperemeter belastet. Da ein Amperemeter seriell zum stromdurchflossenen Bauteil verschaltet wird, muss der Innenwiderstand möglichst klein sein, um einen möglichst kleinen Spannungsabfall zu verursachen. Weiters kann der Messbereich eines Amperemeters erweitert werden, indem der "überschüssige" Strom über einen parallelen Widerstand abgeführt wird.

In diesem Abschnitt sollten analoge Schritte wie bei der Spannungsmessung durchgeführt werden: der Innenwiderstand R_i und der Einfluss auf die Schaltung sollen bestimmt und eine Messbereichserweiterung sollte durchgeführt werden.

2.2.1 Messaufbau und Messdurchführung

Bestimmung des Innenwiderstands

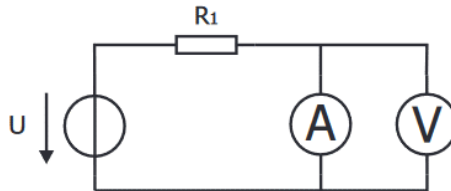


Abbildung 4: Schaltung zur Bestimmung des Innenwiderstands

Bestimmung des Einflusses

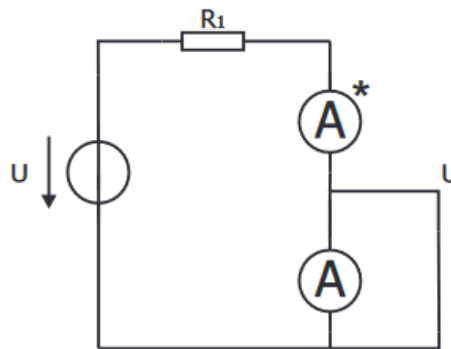


Abbildung 5: Schaltung zur Bestimmung des Einflusses

Messbereichserweiterung

2.2.2 Messergebnisse

Bestimmung des Innenwiderstands

Die tatsächliche Größe des Vorwiderstands wurde mit dem Handmultimeter vermessen und betrug $R_1 = 4,68 \text{ k}\Omega$. Nachdem ein Anzeigestrom am Amperemeter von $I_A = 500 \text{ A}$ eingestellt wurde, stellten sich eine Gesamtspannung $U_q = 2,382 \text{ mV}$ und eine Spannung am Amperemeter $U_A = 50,5 \text{ mV}$ ein.

Es lässt sich direkt der Innenwiderstand berechnen zu

$$R_i = \frac{U_A}{I_A} = 101 \Omega,$$

dieses Ergebnis ist für den niedrigen Strombereich des Multimeters sinnvoll.

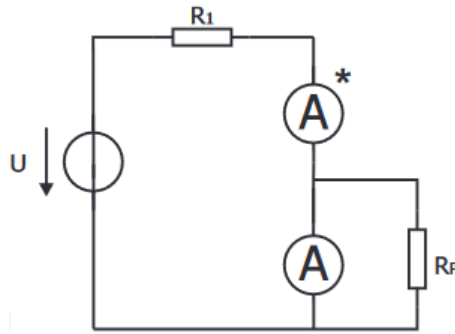


Abbildung 6: Schaltung zur Messbereichserweiterung

Bestimmung des Einflusses

Wie auch zuvor wurden Vorwiderstand $R_1 = 4,68\text{ V}$ sowie Gesamtspannung $U_q = 2,413\text{ V}$ vermessen. Nach der Messung wurden die Messergebnisse aus Tabelle 2 aufgenommen.

$$f_A = \frac{490\text{ }\mu\text{A}}{500\text{ }\mu\text{A}} = 0,98$$

Tabelle 2: Messergebnisse zum Einfluss des Amperemeters

	I_A	I_{A^*}
vorher	-	$500\text{ }\mu\text{A}$
nachher	$495\text{ }\mu\text{A}$	$490\text{ }\mu\text{A}$

Messbereichserweiterung

Der gemessene Parallelwiderstand betrug $R_P = 9,9\text{ k}\Omega$. Mit diesem Widerstand wurde die Zweigströme $I_{A^*} = 500\text{ }\mu\text{A}$ und $I_A = 499\text{ }\mu\text{A}$ gemessen.

$$\Rightarrow f_{ME} = \frac{I_{A^*}}{I_A} \approx 1,002$$

Diese Werte haben sich bei einer Versorgungsspannung $U_q = 2,458\text{ V}$ eingestellt.

2.3 Widerstandsmessung

Hier sollten ein $100\text{ }\Omega$ und ein $100\text{ k}\Omega$ Widerstand vermessen werden. Dazu muss direkt mit einem Ohmmeter und über den Strom und die Spannung gemessen werden. Weiters muss der Farbcode identifiziert werden.

2.3.1 Messaufbau und Messdurchführung

Widerstandsfarbcode

Die Widerstände $R_{1,G}$ und $R_{1,K}$ wurden zunächst über ihren Farbcode identifiziert und ausgewählt.

Direkte Messung

Mit dem Digitalmultimeter MM0 wurden sowohl $R_{1,G}$ als auch $R_{1,K}$ vermessen. Dadurch konnte schonmal sichergestellt werden, dass die Widerstandsfarbcodes richtig gelesen wurden.

Strom- und Spannungsmessung

Zur Bestimmung des Widerstandes über den Zusammenhang des ohmschen Gesetztes musste beachtet werden, dass es zwei unterschiedliche Messmethoden gibt:

- Stromrichtige Messung: Vorallem bei sehr großen Widerständen gut geeignet. Hierfür wurde das Multimeter MM1 als Amperemeter und das Multimeter MM2 als Voltmeter verwendet.

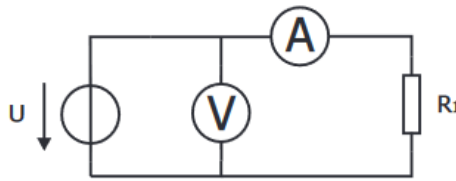


Abbildung 7: Schaltung zur stromrichtigen Widerstandsmessung

- Spannungsrichtige Messung: Vorallem bei sehr kleinen Widerständen gut geeignet. Hierfür wurde das Multimeter MM1 als Amperemeter und das Multimeter MM2 als Voltmeter verwendet.

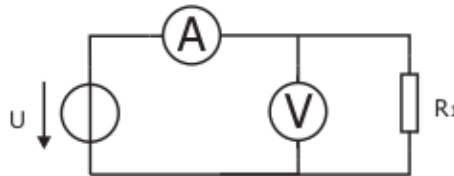


Abbildung 8: Schaltung zur spannungsrichtigen Widerstandsmessung

Für diese Laborübung sollen beide Methoden an beiden Widerständen durchgeführt werden. Zur Durchführung wurde eine Versorgungsspannung gewählt, die für beide Widerstände geeignet ist und möglichst groß ist. Dadurch wird die Messgenauigkeit der Messgeräte möglichst gut ausgenutzt. Zur Durchführung wurde eine Versorgungsspannung gewählt, die für beide Widerstände geeignet ist und möglichst groß ist. Dadurch wird die Messgenauigkeit der Messgeräte möglichst gut ausgenutzt. Mit einer Eingangsspannung $U_q \approx 2V$ liegen beide Widerstände weit von ihrer thermischen Belastungsgrenze entfernt.

2.3.2 Messergebnisse

Widerstandsfarbcode

Das Auslesen des Widerstandsfarbcodes hat die Widerstände

- $R_{1,K} = (100 \pm 5\%) \Omega$
- $R_{1,G} = (100 \pm 5\%) k\Omega$

ergeben.

Direkte Messung

Die direkte Messung mit einem Multimeter hat die Widerstände

- $R_{1,K} = 98,5 \Omega$
- $R_{1,G} = 99,7 k\Omega$

ergeben.

Stromrichtige Messung

Als Versorgungsspannung wurde $U_q = 1,989 V$ gewählt. Daraus ergaben sich die Messungen

- niederohmiger Widerstand: $U_K = 1,97 V$, $I_K = 19,6 mA \Rightarrow R_{1,K} = \frac{U_K}{I_K} \approx 100,51 \Omega$
- hochohmiger Widerstand: $U_G = 1,97 V$, $I_G = 20,0 \mu A \Rightarrow R_{1,G} = \frac{U_K}{I_K} \approx 98,5 k\Omega$

ergeben.

Spannungsrichtige Messung

Als Versorgungsspannung wurde $U_q = 1,989 \text{ V}$ gewählt. Daraus ergaben sich die Messungen

- niederohmiger Widerstand: $U_K = 1,85 \text{ V}$, $I_K = 19,04 \text{ mA} \implies R_{1,K} = \frac{U_K}{I_K} \approx 97,164 \Omega$
- hochohmiger Widerstand: $U_G = 1,976 \text{ V}$, $I_G = 18,4 \mu\text{A} \implies R_{1,K} = \frac{U_K}{I_K} \approx 107,39 \text{ k}\Omega$

ergeben.

Fazit

Wie erwartet war die stromrichtige Messung viel genauer bei der Messung des hochohmigen Widerstands und die spannungsrichtige Messung war besser für die Messung des niederohmigen Widerstands geeignet. Die Direkte Messung war in beiden Fällen sehr akkurat und die Bestimmung über den Farbcode ging am schnellsten, sofern man die Kodierung schnell entschlüsseln konnte.

3 Messungen mit dem Oszilloskop

Mithilfe des Oszilloskops können alle signalform-abhängigen Eigenschaften untersucht werden, weshalb sich dieses für detaillierte Untersuchungen besonders gut eignet, aber auch eine aufwändigere Messung fordert. Nicht nur die Interpretation der Ergebnisse ist komplexer, auch die Kenntnisse über das Messgerät und vom Zubehör müssen besser sein.

3.1 Tastkopf

Tastköpfe mit einem einstellbaren Tastverhältnis werden oft mit einer verstellbaren Kapazität ausgestattet. Durch Veränderung der Kapazität kann der interne komplexe Spannungsteiler kompensiert werden. In dieser Übung sollen drei Tastköpfe K1, K2 und K3 mithilfe des Oszilloskops OZ1 kompensiert werden. Dabei soll ein Tastkopf möglichst gut kompensiert werden, einer soll überkompensiert und der dritte soll unterkompensiert werden. Dabei soll ein Tastkopf möglichst gut kompensiert werden, einer soll überkompensiert und der dritte soll unterkompensiert werden.

3.1.1 Messaufbau und Messdurchführung

Es wurden drei kompensierbare Tastköpfe mit unterschiedlichen Markierungen herausgesucht. Diese wurden nacheinander am Channel 1 Eingang des Oszilloskops OZ1 angeschlossen und am Rechteck-Ausgang des Oszilloskops kompensiert.

- Tastkopf K1 wurde dem Rechtecksignal möglichst gut angenähert und somit **abgeglichen**.
- Tastkopf K2 wurde **unterkompensiert**, sodass die Flanken möglichst abgerundet waren.
- Tastkopf K3 wurde **überkompensiert**, sodass starke Überschwüngen an den Flanken auftraten.

Zur Messung wurde als nächstes ein Sinussignal ($f = [100, 100\text{ k}] \text{ Hz}$, 10 V_{pp}) über ein passendes Endstück aus dem Funktionsgenerator FG1 ausgeführt und dessen Spitze-Spitze-Spannung vermessen. Schließlich wurden die Signalverläufe der Tastköpfe K1 und K3 verglichen und deren Phasenverschiebung vermessen.

3.1.2 Messergebnisse

Die Messung der Spitzenwerte sind in Tabelle 3 ersichtlich und wurden mit der Measure-Funktion des Oszilloskops gemessen. Während der abgeglichene Tastkopf den Messdaten nach komplett Frequenzunabhängig ist, weist der überkompensierte Tastkopf K3 extreme Spannungserhöhungen mit steigender Frequenz und der unterkomensierte Tastkopf K2 extreme Spannungsabschwächungen mit steigender Frequenz auf.

In Abb. 9 ist zusätzlich zum Unterschied in der Amplitude eine Phasenverschiebung zu erwarten. Durch manuelle Messung mittels der Cursor-Funktion des Oszilloskops ergibt sich eine vernachlässigbare Phasenverschiebung

$$\Delta\phi = \frac{\Delta T}{T} 2\pi = \frac{1,34 \mu\text{s}}{100 \mu\text{s}} 2\pi, \approx 0,084^\circ.$$

Tabelle 3: Spitze-Spitze-Spannungen gemessen mit unterschiedlich kompensierten Tastköpfen

f in kHz	K1 in V_{pp}	K2 in V_{pp}	K3 in V_{pp}
0,1	10,6	10,5	10,7
1	10,6	10,09	12,3
10	10,6	5,41	17,9
100	10,6	5,04	18,3

3.2 AC-Spannungsmessung

Hier sollten unterschiedliche, periodische Signalformen miteinander Verglichen werden. Dazu müssen die Kenngrößen Spitzenwert und Effektivwert herangezogen werden.

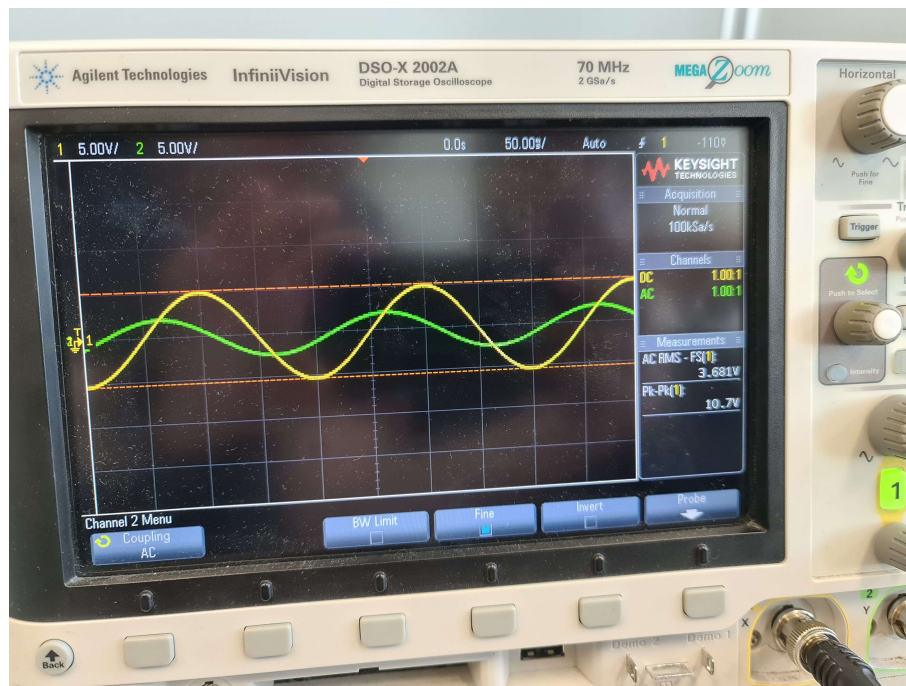


Abbildung 9: Vergleich Tastkopf 1 (Sinus mit kleinerer Amplitude) und Tastkopf 2 (Sinus mit größerer Amplitude)

3.2.1 Messaufbau und Messdurchführung

Zunächst wurde die Schaltung wie in Abb. 10 mit den Widerständen $R_1 = 100\ \Omega$, $R_2 = 4,7\ \text{k}\Omega$ und $R_3 = 100\ \text{k}\Omega$ aufgebaut und der Funktionsgenerator auf mit $U_{pp} = 1\ \text{V}_{pp}$ eingestellt. Um die Spannung zur gemeinsamen Masse zwischen Oszilloskop OZ1 und Funktionsgenerator FG1 und Oszilloskop abgreifen zu können, wurde der Widerstand R_2 dritter Stelle, an der Masse angebracht. Am Funktionsgenerator wurde der der $50\ \Omega$ Ausgang eingestellt. Das Signal wurde über ein Koax-Kabel mit dem Oszilloskop verbunden und das Tastverhältnis 1 : 1 richtig eingestellt.

Mit dem Oszilloskop wurden die Kennwerte für Sinus-, Dreieck- und Rechteckformen gemessen. Der Ausgang des Funktionsgenerators wurde auf HIGH-Z gestellt und die Messungen wurden wiederholt.

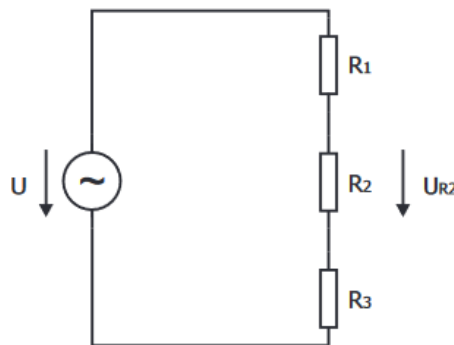


Abbildung 10: Schaltung zur AC-Spannungsmessung

3.3 RMS im Detail

Mit einem ähnlichen Aufbau wie bei der AC-Messung soll nun die RMS-Funktionalität unterschiedlicher Messgeräte miteinander verglichen werden.

3.3.1 Messaufbau und Messdurchführung

Der Messaufbau wurde wie in Abb. 10 beibehalten und mit den zusätzlichen Messgeräten parallel zueinander ergänzt. Dazu wurde der Ausgang des Funktionsgenerators mit einem T-Stück geteilt

Tabelle 4: Messung der Kennwerte unterschiedlicher Signalformen

f [kHz]	Signalform	$U_{pp,HighZ}$ [mV _{pp}]	$U_{pp,50\Omega}$ [mV _{pp}]	$U_{RMS,HighZ}$ [mV _{RMS}]	$U_{RMS,50\Omega}$ [mV _{RMS}]
1	Sinus	950	950	331	331
1	Dreieck	941	943	270	270
10	Dreieck	950	946	272	270
100	Dreieck	960	960	273	273
1	Rechteck	942,75	937,25	474	470
10	Rechteck	950	950,5	474	473
100	Rechteck	956	943	477	476

und mit einem Adapter für Bananenstecker ergänzt. Mithilfe von Messstrippen wurden die Spannungseingänge des Multimeters MM0 und des Multimeters MM2 am Messsignal angeschlossen. Der Funktionsgenerator FG1 wurde auf eine Spitze-Spitze-Spannung $U_{pp} = 20 \text{ V}_{pp}$ gestellt und der Messablauf wie in der AC-Messung wiederholt.

3.3.2 Messergebnisse

Tabelle 5: Messung der Kennwerte unterschiedlicher Signalformen

f	Signalform	$U_{pp,Osz}$ [V _{pp}]	$U_{RMS,Osz}$ [V _{RMS}]	$U_{RMS,MM0}$ [V _{RMS}]	$U_{RMS,MM2}$ [V _{RMS}]
1 kHz	Sinus	21,1	7,38	7,41	7,31
100 kHz	Sinus	20,9	7,34	7,41	0,178
1 MHz	Sinus	20,7	7,32	3,6	0
1 kHz	Dreieck	20,9	6,03	6,049	8 ± 1
100 kHz	Dreieck	20,8	6,01	4,458	0,127
300 kHz	Dreieck	20,6	6,01	1,590	0
1 kHz	Rechteck	21,33	10,47	10,44	11,43
100 kHz	Rechteck	21,7	10,38	9,72	0,24
300 kHz	Rechteck	21,9	10,3	1,543	0

3.4 Amplitudenauflösung

Da es sich beim verwendeten Oszilloskop um ein Digitalspeicheroszilloskop handelt, verwendet dieser einen internen AD-Wandler, um das analoge Eingangssignal zu digitalisieren. In dieser Aufgabe sollte die Auflösung dieses Wandlers bestimmt werden.

3.4.1 Messaufbau und Durchführung

Hier wurde wieder das Oszilloskop OZ1 mit dem Funktionsgenerator FG1 verwendet. Am Funktionsgenerator wurde lediglich ein Sinussignal ($f = 1 \text{ kHz}$, $\hat{U} = 5 \text{ V}$) eingestellt und über ein Koaxialkabel mit BNC-Stecker in das Oszilloskop gespeist.

Anschließend wurde das Signal weitestgehend vergrößert, ein Standbild des Verlaufs aufgenommen und die Diskretisierung mit der Cursor-Funktion des Oszilloskops vermessen. Dabei wurde das Sinussignal im Ursprung im Bereich der größten Steigung analysiert.

3.4.2 Messergebnisse

Es konnte eine minimale Stufenhöhe von $\Delta u_{min} = 25,975 \text{ mV}$ bei einer Spitze-Spitze-Spannung $U_{pp} = 6,29 \text{ V}_{pp}$ vermessen werden.

$$\log_2\left(\frac{U_{pp}}{\Delta u_{min}}\right) \approx 7,92 \approx 8 = n \dots \text{Bitanzahl des ADC}$$

3.5 Dynamik

Das Eingangssignal kann über unterschiedliche Kopplungen eingespeist werden. Dabei dient die DC-Kopplung

3.6 Einschaltvorgang der Spannungsversorgung