

Praktikum Elektronik I

1. Übung: Kennenlernen der Versuchsumgebung

Prof. G. Kemnitz, Dr. C. Gieseemann, TU Clausthal, Institut für Informatik

25. Oktober 2022

1.1 Einführung

Das Lernziel der Laborübungen besteht darin, anhand von praktischen Versuchen und numerischen Berechnungen die Funktionsweise elektronischer Schaltungen zu untersuchen. Dazu sind vorgegebene Schaltungen auf der Steckplatine des »Electronics Explorers« aufzubauen und mit den Versorgungsspannungen, Signalquellen und Messgeräten des »Electronics Explorers« zu verbinden. Die Steuerung der Signalquellen und Messgeräte erfolgt über einen über USB angeschlossenen PC mit Hilfe der Software »WaveForms«. Die numerische Berechnung der zu erwartenden Messwerte erfolgt mit Octave¹.

1.2 Einführung in Octave

Octave ist ein Numerikprogramm, optimiert für die Arbeit mit Matrizen und die graphische Darstellung von Zusammenhängen. Für viele Standardaufgaben der Numerik, z.B. die Lösung linearer Gleichungssysteme und die Transformation von Zeitfunktionen in den Frequenzbereich, gibt es fertige Funktionen. Nach dem Start von Octave (GUI) öffnet sich unter anderem ein Kommandofenster, in dem Anweisungen direkt eingegeben, interpretativ abgearbeitet und so getestet werden können. Mehrzeilige Programme können in eine Textdatei – ein sog. m-Skript – geschrieben, und im Block ausgeführt werden. Beispiele für Octave-Anweisungen sind:

dir Anzeige der Dateien im Arbeitsverzeichnis

cd Verzeichnis wechseln

help <Funktionsname> genaue Beschreibung der Funktion

x=[1 0 0]; Eingabe eines Zeilenvektors (Trennung der Elemente durch Leerzeichen). Variablen wie hier x müssen nicht vereinbart werden, sondern sie werden automatisch als Gleitkommazahl oder wie im Beispiel als ein Vektor von Gleitkommazahlen angelegt.

whos Anzeige aller angelegten Variablen mit Typ und Größe.

Variablenname ohne Semikolon Anzeige des Wertes der Variablen

V=[0; -2; 0]; Eingabe eines Spaltenvektors

M=[1 -1 -1; 1 1 0; 0 -1 1]; Eingabe einer quadratischen 3×3 -Matrix

***** / + - Grundrechenarten, auch auf Matrizen anwendbar

n^k Potenz n^k

M^-1 inverse Matrix von M

¹Octave: Freie Matlab-Alternative, deren Befehle und Skriptsprache überwiegend kompatibel zu Matlab ist.

$\mathbf{I}=(\mathbf{M}^{-1})\cdot\mathbf{V}$; Berechnung des (Strom-) Vektors \mathbf{I} für das lineare Gleichungssystem

$$\begin{aligned} \mathbf{M} \cdot \mathbf{I} &= \mathbf{V} \\ \mathbf{I} &= \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{V} \end{aligned}$$

Die Lösung eines linearen Gleichungssystems ist bereits nahezu das komplizierteste Schaltungsmodell, das uns in den ersten Übungen begegnen wird. Abb. 1 zeigt eine Beispielschaltung und das zugehörige Octave-Programm zur Berechnung der drei Ströme über ein nach den Kirchhoffschen Gesetzen aufgestelltes Gleichungssystem.

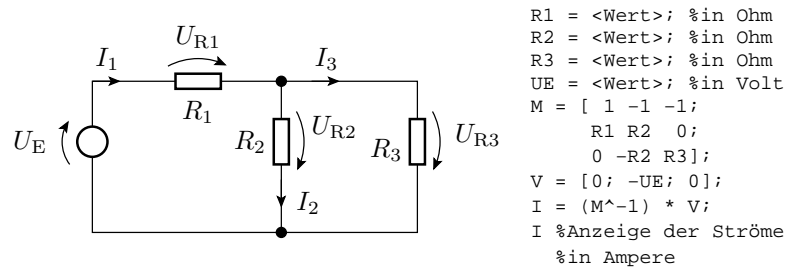


Abbildung 1: Schaltung und Octave-Programm zur Berechnung der eingezeichneten Ströme

In den späteren Übungen werden auch Zeitfunktionen verwendet, die in Octave-Modellen gleichfalls als Vektoren oder Matrizen und durch Graphikfunktionen dargestellt werden.

plot(t, f); 2D-Darstellung der Funktion $f(t)$, z.B. einer Sinusfunktion

```

t=0:pi/50:10*pi; %Erzeugen eines Vektors t=[0 pi/50 2*pi/50 ...]
f=sin(t);        %Erzeugen eines Vektors f=[sin(0) sin(pi/50) sin(2*pi/50) ...]
plot(t, f);      %graphische Darstellung der Funktion f(t)

```

plot3(u, v, w); Ausgabe einer 2D-Projektion eines 3D-Linienzuges. Der nachfolgende Zweizeiler erzeugt eine 3D-Helix:

```

t=0:pi/50:10*pi;
plot3(sin(t), cos(t), t);

```

Aufgabe 1.1: Ausprobieren von Octave

Probieren Sie die vorgegebenen Octave-Befehle und Befehlsfolgen aus. Legen Sie sich für die Übung ein Verzeichnis an, z.B.:

```
H:\EP\A1
```

und schreiben Sie die Befehlsfolge zur Berechnung der Ströme für die Beispielschaltung in die Datei `a1_1.m`. Wechseln Sie in Octave in das angelegte Verzeichnis und führen Sie das m-Skript mit dem Befehl

```
a1_1
```

aus. Testen Sie anschließend auch die beiden kurzen Programme für die graphische Darstellung von Zeitfunktionen.

1.3 Der »Electronics Explorer« und das Programm »WaveForms«

Auf der Oberseite des »Electronics Explorer« befindet sich ein Steckbrett mit universellen Steckplätzen für den Versuchsaufbau und speziellen Steckplätzen, an denen Spannungsquellen, Signalquellen und Messgeräteeingänge von unten her angeschlossen sind (Abb. 2). Auf der Unterseite befinden sich die Schaltungen für die Bereitstellung der Versorgungsspannungen und Eingabesignale sowie für die Erfassung der Messwerte. Die Steuerung der Quellen und Messgeräte erfolgt von einem PC aus über USB mit Hilfe des Programms »WaveForms« unter dem Betriebssystem Windows.

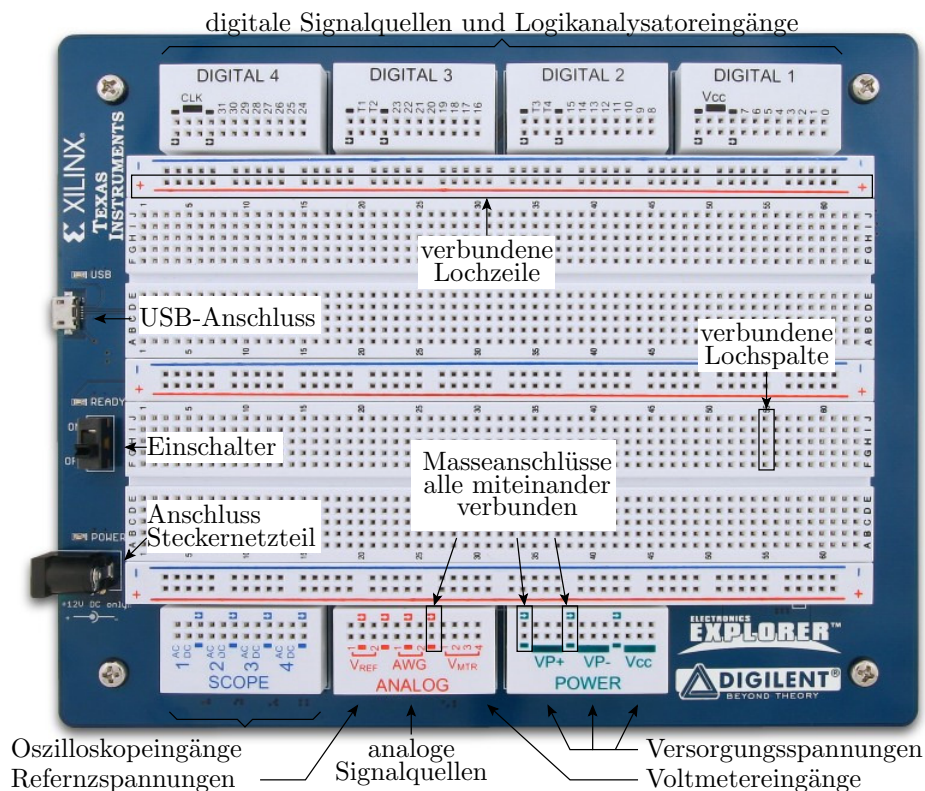


Abbildung 2: Draufsicht auf den »Electronics Explorer«

Im weiteren werden die folgenden speziellen Anschlüsse auf dem »Electronics Explorer« genutzt: Vom Steckfeld »POWER«

- VP+: positive Versorgungsspannung (0...9 V)
- VP-: negative Versorgungsspannung (0... - 9 V)
- Vcc: Versorgungsspannung für Digitalschaltungen (5 V oder 3.3 V)

Vom Steckfeld »ANALOG«

- V_{REFi} ($i \in \{1, 2\}$) Referenzspannungen -10 V... 10 V max. 10 mA
- AWG*i* ($i \in \{1, 2\}$) analoge Signalgeneratorausgänge
- V_{MTRi} ($i \in \{1, 2, 3, 4\}$) Voltmetereingänge

Vom Steckfeld »SCOPE«

- AC*i* ($i = \{1, 2, 3, 4\}$): Oszilloskopeingänge mit Gleichspannungstrennung

- DC i ($i = \{1, 2, 3, 4\}$): Oszilloskopeingänge mit Gleichspannungskopplung

Die Software »WaveForms« ist im Startmenü unter Digilent -> WaveForms zu finden (Abb. 3a).

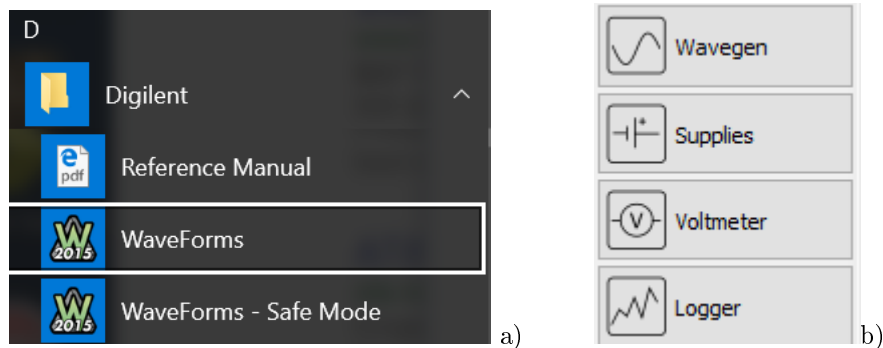


Abbildung 3: a) »WaveForms« im Startmenü, b) Schaltflächen für Untermenüs

Vor dem Start von »WaveForms« ist der »Electronics Explorer« anzuschließen und die Versorgungsspannung einzuschalten. Nach dem Start sollte der »Electronics Explorer« gefunden werden und unten im Fenster »EExplorer SN: ... Status: OK« erscheinen. Wenn unten rechts »Explorer OFF« erscheint, dann besteht zwar die USB-Verbindung, aber der Explorer ist nicht eingeschaltet oder die Stromversorgung nicht eingesteckt. Erscheint die Meldung »No device detected«, besteht keine USB-Verbindung zum PC. In diesem Fall mit »OK« und »Cancel« das Programm schießen, die Verbindung herstellen und erneut starten.

Aus dem sich öffnenden Startmenü wird für die ersten Übungen nur das Fenster »Supplies« benötigt (Abb. 3b). Im oberen Teil des sich dann öffnenden Fenster (Abb. 4) sind

- im linken Teil die benötigten Spannungsquellen einzuschalten.
- Im mittleren Teil werden die Werte der Versorgungs- und Referenzspannungen und für VP+ (Positive Supply) und VP- (Negative Supply) zusätzlich die Strombegrenzung eingestellt.

In Abb. 4 ist nur die Quelle VP+ eingeschaltet. Ihre Ausgabespannung ist auf 9 V und die Strombegrenzung auf 100 mA eingestellt. Die tatsächlichen Spannungs- und Stromwerte betragen 9,002 V und 12 mA.

Master Enable	Positive Supply - VP+ - On		Fixed Supply - Vcc - Off	
<input type="checkbox"/> Vcc Off	9 V	100 mA	3.3 V	
<input checked="" type="checkbox"/> VP+ On	9.002 V	12 mA	- . - .	- . - .
<input type="checkbox"/> VP- Off	Negative Supply - VP- - Off		Reference Voltages	
<input type="checkbox"/> Vref1 Off	-2 V	-500 mA	Vref1 - Off	0 V
<input type="checkbox"/> Vref2 Off	- . - .	- . - .	Vref2 - Off	0 V

Abbildung 4: Oberer Teil des Supply-Fensters

Das Messwertfenster Abb. 5 zeigt für die aktivierten Versorgungsspannungen den Leistungsumsatz und für die Voltmetereingänge die Spannungen an. Im Versuchsaufbau zur Abbildung ist Voltmetereingang 1 über einen Spannungsteiler an VP+ angeschlossen und zeigt einen heruntergeteilten Wert. Die übrigen Voltmetereingänge sind nicht angeschlossen und zeigen praktisch null an.

1.4 Multimeter

Zu jedem Versuchsplatz gehört ein Multimeter, mit dem Sie elektrische Größen direkt messen können (Abb. 6). Das benötigen Sie z.B. um

	Name	Value	Plot	Color	
1	Vcc Power	41.8 uW	<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow	
2	VP+ Power	96.35 mW	<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan	
3	VP- Power	-324.6 uW	<input checked="" type="checkbox"/>	Magenta	
4	Vmtr 1	4.35 V	<input checked="" type="checkbox"/>	Green	
5	Vmtr 2	-67.45 mV	<input checked="" type="checkbox"/>	Orange	
6	Vmtr 3	-51.3 mV	<input checked="" type="checkbox"/>	Blue	
7	Vmtr 4	-49.75 mV	<input checked="" type="checkbox"/>	Red	

Abbildung 5: Messwertfenster

- Widerstände und Dioden vor dem Einbau auszumessen,
- Widerstände am Ende der Übung wieder richtig einzusortieren,
- vor der Inbetriebnahme die korrekte Verdrahtung mit dem Durchgangsprüfer zu kontrollieren und
- beim Auftreten unplausibler Messergebnisse zu untersuchen, ob die Schaltung oder die Messwerterfassung fehlerhaft ist.



Abbildung 6: Multimeter

Wenn die Anzeige verblasst, muss das Messgerät an die Ladestation auf dem Fensterbrett.

Aufgabe 1.2: Arbeit mit dem Multimeter

Nehmen Sie sich 2 beliebige Widerstände mit unterschiedlichen Widerstandswerten im Bereich von 1 k Ω bis 10 k Ω aus der Widerstandsbox. Messen Sie deren Werte. Messen Sie zusätzlich den Wert der Reihenschaltung und den Widerstandswert der Parallelschaltung und tragen Sie die Ergebnisse in die nachfolgende Tabelle ein:

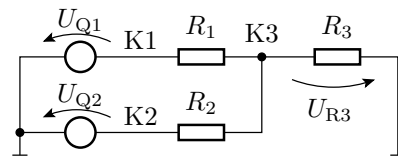
R_1	R_2	Parallelschaltung	Reihenschaltung

Rechnen Sie (mit Octave) nach, ob die gemessenen Werte der Reihen- und Parallelschaltung mit den Ergebnissen übereinstimmen, die sich aus den in der Vorlesung behandelten Modellverhalten ergeben.

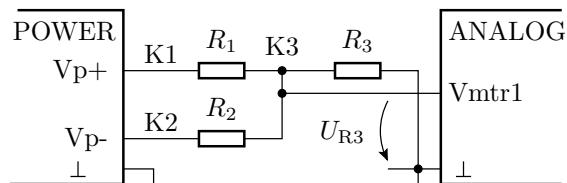
1.5 Versuchsaufbau

Abbildung 7a zeigt ein Netzwerk aus zwei Spannungsquellen und drei Widerständen. Gesucht ist die Spannung U_{R3} . Mit dem »Electronics Explorer« können nur Potentiale, d.h. Spannungsdifferenzen zu Masse eingestellt und gemessen werden. An K1 ist das Potential gleich U_{Q1} und an K2 gleich U_{Q2} . Die gesuchte Spannung ist das Potential an K3. In Abb. 7b sind die Knoten K1 und K2, deren Potentiale gleich den Quellenspannungen sind, an die Versorgungsanschlüsse VP+ und VP- und der Knoten, dessen Potential gleich der gesuchten Spannung U_{R3} ist, an den ersten Messeingang V_{MTR1} angeschlossen. Abb. 7c zeigt ein Foto der zusammengesteckten Schaltung.

a) Schaltung



b) Anschluss der Quellen und Messgeräte



c) Steckaufbau

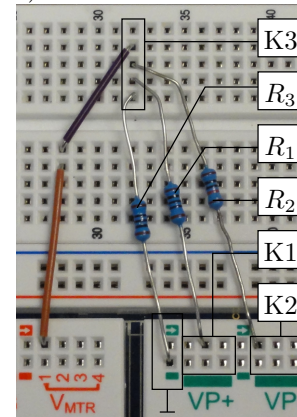


Abbildung 7: Versuchsaufbau für eine Beispielschaltung

Eine fehlerhaft aufgebaute Schaltung kann dazu führen, dass Bauteile oder der »Electronics Explorer« zerstört werden. Während des Aufbaus ist der »Electronics Explorer« deshalb immer auszuschalten. Die Inbetriebnahme nach jeder Schaltungsänderung erfolgt immer in »vorsichtigen« Schritten

- Sichttest: optische Kontrolle aller Bauteile und Verbindungen.
- MDA²-Test: Kontrolle der Widerstände entlang und zwischen allen Verbindungen. Entlang einer Verbindung muss der Widerstand unter einem Ohm und zwischen Verbindung in der Regel über $100\ \Omega \dots 1\text{k}\Omega$ sein.
- a) Rauchtest: Einstellen der Strombegrenzung auf den mindestens erforderlichen Wert (vorher abzuschätzen). Einschalten der Versorgungsspannung. Kontrolle, ob sich Bauteile erwärmen oder gar anfangen zu rauchen. Erhöhung der Strombegrenzungswerte, bis die Quellenspannungen auch auf der Baugruppe anliegen.
- b) Funktionstest: Einstellung der Eingangsspannungen und Ablesen der Ausgangsspannungen.

Die Einstell- und Messwerte sind zu notieren. Darüber hinaus ist in dieser Lehrveranstaltung für jede untersuchte Schaltung ein Octave-Programm zu entwickeln, mit dem für die eingestellten Eingabewerte die Ausgabewerte zum Vergleich mit den Messwerten zu berechnen sind. Im Beispiel könnte das Octave-Programm eine Schleife sein,

- die eine Matrix mit Eingabewerten zeilenweise abarbeitet,
- für jedes Tupel von Eingabewerten die Soll-Ausgabe für U_{R3} berechnet und
- in einen Ergebnisvektor UR3 schreibt:

²MDA – Manufacturing Defect Analyze

```

% Testeingabewerte
eingabe =[1 -3;      % Eingabewerte in Volt als Matrix
          2 -2; ... % mit Zeilentupeln UQ1 UQ2
for i=1:<Zeilenanzahl der Matrix>
    UQ1 = eingabe(1,i); UQ2 = eingabe(2,i);
    UR3(i) = <f(UQ1, UQ2)>
end
UR3          % Ergebnisanzeige

```

1.6 Ergebnisexport nach Octave

Statt die Einstell- und Messwerte zu notieren und dann manuell nach Octave zu übertragen, gibt es auch die Möglichkeit, diese in eine Datei zu speichern und in Octave zu importieren. Zuerst sind die Anzeigen für VP+ und VP- von »Power« auf »Voltage« umzustellen. Nacheinander VP+ und VP- auswählen, Doppelklick auf »Name« oder »Value« und Änderung des Auswahlwertes in »Voltage«. Überflüssige Einträge über »-« und Remove entfernen. Fehlende zu messende Werte sind mit »+« zu ergänzen. Wenn für eine Quelle sowohl »Voltage« als auch »Current« benötigt werden, zwei Einträge anlegen. Unter »History« 10 s Aufzeichnungstakt einstellen.

Nach Konfiguration der Aufzeichnung werden im oberen Fensterteil mit »Master Enable« die Quellen aktiviert und der Messablauf gestartet. Die Messwerte im rechten Fenster werden mit dem neusten Wert ganz rechts angezeigt. Ein Klick auf den roten Kreis vor Supplies (alternativ F6) stoppt die Messwertaufzeichnung und ein Klick auf den grünen Pfeil (alternativ F5) startet sie wieder. Für eine Einzelmessung ist die Aufzeichnung nach »Start« sofort (noch vor Anzeige der Messwerte) zu stoppen. Das Besensymbol dient zum Löschen nicht mehr benötigter aufgezeichneter Daten.

Leider verbindet das Programm Messpunkte (Kreuze) mit Geraden, was für unsere Messungen wenig Sinn macht, aber nicht abschaltbar ist. Irritierend ist auch, dass nur das im linken Teil ausgewählte Signal (blau hinterlegte Nummer, im Graph hinter »Selected«) im Zeitdiagramm mit dem richtigen Wert dargestellt wird.

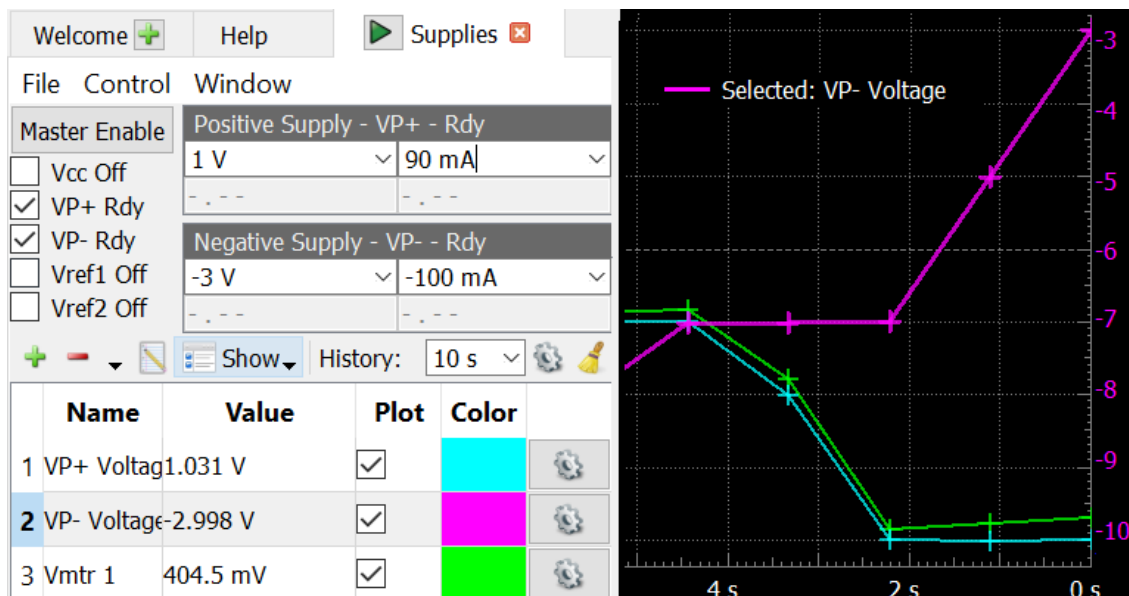


Abbildung 8: Unterer Teil des Voltage-Fensters

Wenn für alle zu untersuchenden Eingabetupel die Messwerte aufgezeichnet sind, ist »File > Export« zu betätigen. Es erscheint eine Tabelle mit den neusten aufgezeichneten Werten oben

(Abb. 9). Im Gegensatz zur Graphik werden hier für alle Signale die aufgezeichneten Werte richtig angezeigt. Auf der linken Fensterseite ist »Headers« auszuwählen und sind »Comments« und »Labels« abzuwählen. Nach Klick auf »Save« sind Speicherort und Dateiname für den Expert anzugeben.

Source:		Data			
Supplies		VP+ Voltage (V)	VP- Voltage (V)	Vmtr 1 (V)	
Options		1	1,0306	-2,99761	0,404408
<input type="checkbox"/> Comments		2	1,0178	-5,00061	0,365336
<input checked="" type="checkbox"/> Headers		3	1,02329	-6,99702	0,325709
<input type="checkbox"/> Labels		4	3,01382	-7,00541	1,35086
		5	4,01974	-7,00703	1,82301
		6	4,01934	-8,00538	1,80319
		7	5,00774	-8,0059	2,31203
		8	5,0146	-9,01129	2,27102
		9	7,01223	-8,99994	3,28122
Copy to Clipboard		10	9,00739	-9,00829	4,1526

Abbildung 9: Unterer Teil des Voltage-Fensters

Die Daten werden als Textdatei mit Kommas zwischen den Messwerten und Zeilenumbruch nach jedem Datensatz gespeichert (csv-Format, comma-separated values):

```
VP+ (Voltage (V), VP- Voltage (V), Vmtr 1 (V)
1.0306..., -2.99761..., 0.404408...
1.0178..., -5.00061..., 0.365336...
...
```

In Octave erfolgt der Import mit:

```
mess_ergebnisse = csvread('<Dateiname>', 1, 0)
```

Die »1« legt fest, dass mit Zeile 1 begonnen, und die »0«, dass mit Spalte 0 begonnen wird. Ergebnis der Funktion ist ein 2D-Feld mit den Werten aus der Datei ohne Spaltenbeschriftung:

```
mess_ergebnisse =
  1.0306... -2.99761... 0.404408...
  1.0178... -5.00061... 0.365336...
  ...
```

Dieses Feld wird in Octave wie ein manuell eingegebenes Feld weiterverarbeitet (siehe Ende Abschn. 1.5).

Aufgabe 1.3: Spannungsteiler

Bauteile: 5 Widerstände $1\text{k}\Omega$ bis $10\text{k}\Omega$

Nehmen Sie sich 5 Widerstände mit Widerstandswerten im Bereich von $1\text{k}\Omega$ bis $10\text{k}\Omega$ aus der Widerstandsbox (jeder Kursteilnehmer beliebige Werte). Messen Sie mit dem Multimeter die Widerstandswerte und tragen Sie diese in die nachfolgende Tabelle ein:

R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	$R_{4,5}$	R_{2-5}

Bauen Sie auf dem Steckbrett schrittweise das Widerstandsnetzwerk in Abb. 10 auf.

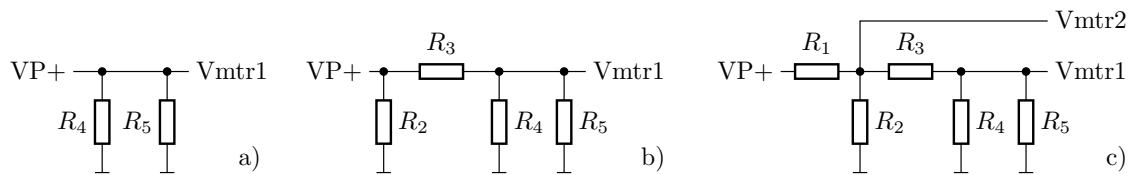


Abbildung 10: Versuchsaufbau für eine Beispielschaltung

Messen Sie nach jedem Aufbauschritt für zwei Beispielwerte von $VP+$ den Strom an $VP+$ und die Spannung(en) an den Punkt(en) mit den Voltmeter(n) (in a und b nur U_{MTR1} in c auch U_{MTR2}). Berechnen Sie für alle drei Schaltungen den Eingangswiderstand

$$R_e = \frac{U_{VP+}}{I_{VP+}}$$

und für c die Spannungsteilerverhältnisse:

$$k_1 = \frac{U_{MTR2}}{U_{VP+}}; \quad k_2 = \frac{U_{MTR1}}{U_{MTR2}}; \quad k_{ges} = k_1 \cdot k_2 = \frac{U_{MTR1}}{U_{VP+}}$$

Kontrollieren Sie alle Ergebnisse, indem Sie die aus den Messwerten berechneten Größen R_e , k_1 , k_2 und k_{ges} mit Octave nachrechnen.

Abnahmekriterien

Aufgabe 1.1: Das m-Script berechnet die Ströme richtig. Sinus und Helix werden richtig dargestellt.

Aufgabe 1.2: Ausgefüllte Tabelle.

Aufgabe 1.3: Sinnvoll gewählte Widerstandswerte, ausgefüllte Tabelle mit den Messwerten, den daraus berechneten Werten und den mit Octave berechneten Sollwerten, das dafür verwendete Octave-Programm.

Bauen Sie zum Abschluss die Schaltungen auseinander und räumen Sie die Bauteile und Drähte auf. Bauteile, die nicht richtig funktioniert haben oder kaputt gegangen sind, bitte dem Betreuer geben, damit sie ersetzt werden.