

HOCHSCHULE ALBSTADT-SIGMARINGEN

STUDIENGANG TECHNISCHE INFORMATIK

Praktikum Elektrotechnik

Versuch 2
Team 1 Gruppe 1

Steffen Hecht & Florian Lubitz

24. Oktober 2018

Inhaltsverzeichnis

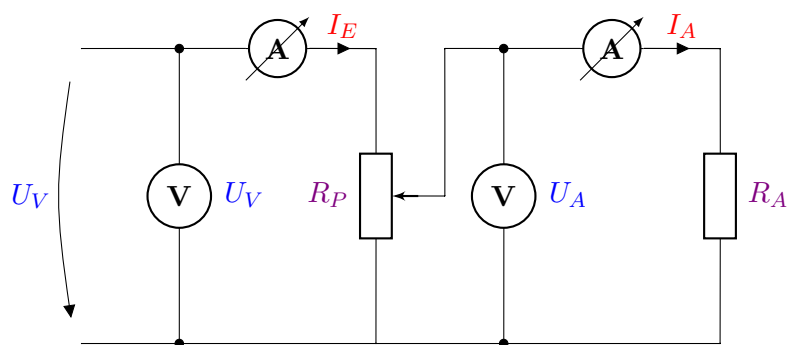
1	Der belastete Spannungsteiler	3
1.1	Einfluss der Belastung eines Spannungsteilers auf die Linearität der Ausgangsspannung	3
1.1.1	Messaufgaben	3
1.1.2	Auswertung	4
2	Ersatzspannungsquelle, Leistungsanpassung.	6
2.1	Ersatzspannungsquelle	6
2.1.1	Messaufgaben	6
2.1.2	Auswertung	8
3	Nichtlineare Bauelemente	12
3.1	Strom- Spannung- Kennlinie einer Glühlampe	12
3.1.1	Messaufgaben	12
3.1.2	Auswertung	14
3.2	Kennlinie einer Z-Diode (Z - Diode in Durchlassrichtung)	15
3.2.1	Messaufgaben	15
3.2.2	Auswertung	17
3.3	Kennlinie einer Z-Diode (Z - Diode in Sperrrichtung)	18
3.3.1	Messaufgaben	18
3.3.2	Auswertung	19
4	Zusammenschaltung linearer und nichtlinearer Netzwerke	21
4.1	Belastung eines Festspannungsteilers mit einer Z - Diode	21
4.1.1	Messaufgaben	21
4.1.2	Auswertung	23

1 Der belastete Spannungsteiler

1.1 Einfluss der Belastung eines Spannungsteilers auf die Linearität der Ausgangsspannung

Messaufbau:

- 1 Widerstand $R_A = 100\text{ k}\Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 1\text{ k}\Omega$
- 1 Potentiometer $R_P = 100\text{ k}\Omega$
- 4 Messgeräte



1.1.1 Messaufgaben

Messaufgabe M1

Aufgabe: Ausgangsspannung U_A , Ströme I_E und I_A bei verschiedenen Potentiometerstellungen messen.

Durchführung: Aufbau der Schaltung. Versorgungsspannung $U_V = 12\text{ V}$ einstellen. Jeweils eine Messreihe für $R_A = \infty, 1\text{ k}\Omega$ und $100\text{ k}\Omega$ aufnehmen.

Ergebnisse:

Tabelle 1.1: Messwertetabelle zur Messaufgabe 2.1.M1

Potenzimeterstellung	$R_A = \infty$			$R_A = 100 \text{ k}\Omega$			$R_A = 1 \text{ k}\Omega$		
	I	U_A	I_A	I	U_A	I_A	I	U_A	I_A
A	0,13	0	0	0,13	0	0	0,13	0	0
B	0,14	1,164	0	0,14	1,137	20	0,15	0,125	130
C	0,14	3,49	0	0,14	2,924	40	0,19	0,173	180
D	0,14	5,68	0	0,16	4,61	50	,25	0,237	250
E	0,14	8,00	0	0,18	6,62	70	0,339	0,376	390
F	0,14	10,37	0	0,22	9,38	100	0,89	0,863	880
G	0,13	11,99	0	0,26	11,98	130	12,02	11,74	11930

1.1.2 Auswertung

Aufgabe 1:

Stellen Sie die Ausgangsspannung U_A in Abhängigkeit der Potentiometerstellung mit R_A als Parameter graphisch dar.

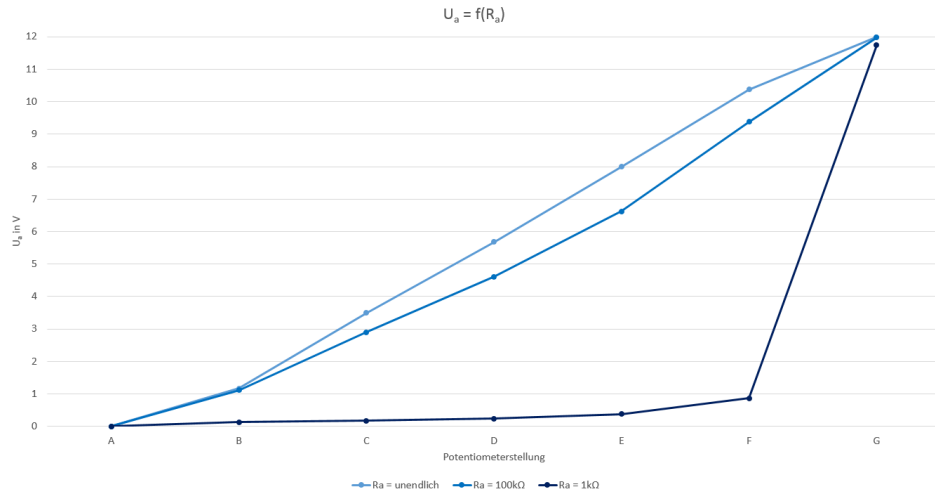


Abbildung 1.1: U_A in Abhängigkeit der Potentiometerstellung

Aufgabe 2:

Für eine elektrische Wegerfassung mit Potentiometer soll die Zuordnung von Potentiometerstellung und Ausgangsspannung möglichst linear sein. Dem Potentiometer ist eine Auswerteelektronik nachgeschaltet. Was ist bei der Auslegung des Eingangswiderstandes für diese Elektronik zu beachten?

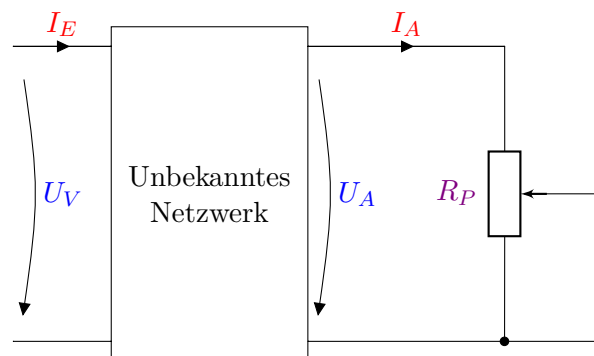
Aus der aufgenommenen Kurve 1.1 lässt sich folgendes ableiten: Der Widerstand sollte möglichst hoch sein, damit der Verlauf der Spannung möglichst linear ist.

2 Ersatzspannungsquelle, Leistungsanpassung.

2.1 Ersatzspannungsquelle

Messaufbau:

- 1 Widerstand $R_A = 100\ \Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 4,7\ \text{k}\Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 10\ \text{k}\Omega$
- 1 Potentiometer $R_P = 4,7\ \text{k}\Omega$
- 1 unbekanntes Netzwerk



2.1.1 Messaufgaben

Messaufgabe M1

Aufgabe: Beschreibung eines unbekannten Netzwerkes als Ersatzspannungsquelle. Dazu Kennlinie der Klemmenspannung $U_A = f(I_A)$ (mit Leerlaufspannung $U_A = 0$) aufnehmen.

Durchführung: Messschaltung aufbauen. Versorgungsspannung $U_V = 12\text{ V}$ einstellen, notfalls während der Messung nachregeln. Laststrom I_A mit dem Lastwiderstand R_P in ca. 1 mA Schritten ändern. Strom I_E für eine spätere Leistungsberechnung mitmessen. Messwerte protokollieren.

Ergebnisse:

Tabelle 2.1: Messwertetabelle zur Messaufgabe 2.1.M1

$I_A[\text{mA}]$	$I_E[\text{mA}]$	$U_A[\text{V}]$	$R_A = \frac{U_A}{I_A}[\Omega]$	$R_I = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A}[\Omega]$	Wirkungsgrad [%]	P [mW]
1,09	5,39	5,3	4862,4	-	9	5,78
2,09	5,87	4,68	2239,2	620,0	14	9,78
3,07	6,35	4,08	1329,0	612,2	16	12,53
4,16	6,88	3,41	819,7	614,7	17	14,19
5,09	7,33	2,85	559,9	602,2	16	14,51
6,19	7,85	2,19	353,8	600,0	14	13,56
7,19	8,34	1,56	217,0	630,0	11	11,22
8,13	8,80	0,97	119,3	627,7	7	7,89
9,16	9,30	0,35	38,2	601,9	3	3,21
9,58	9,50	0,081	8,5	640,5	1	0,78

Messaufgabe M2:

Aufgabe: Belasten Sie das Netzwerk mit $R_A = 10\text{ k}\Omega$, $4,7\text{ k}\Omega$ und $100\text{ }\Omega$. Protokollieren Sie die Messwerte.

Ergebnisse:

Tabelle 2.2: Messwertetabelle zur Messaufgabe 2.1.M2

R_A	I_A [mA]	I_E [mA]	U_A [V]	U_V [V]
10 k Ω	0,57	5,14	5,63	12,0
4,7 k Ω	1,13	5,41	5,29	12,0
100 Ω	8,48	8,97	0,847	12,0

2.1.2 Auswertung

Aufgabe 1:

Stellen Sie die Kennlinie $U_A = f(I_A)$ aus Messaufgabe 1 graphisch dar.

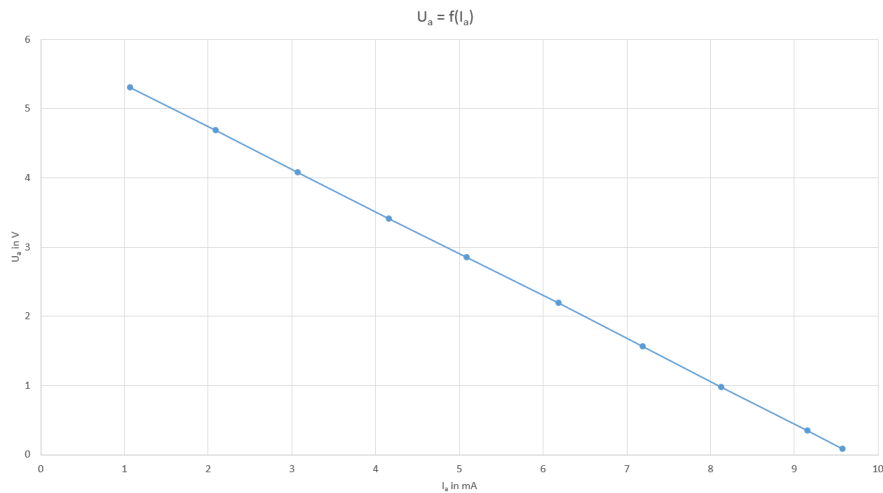
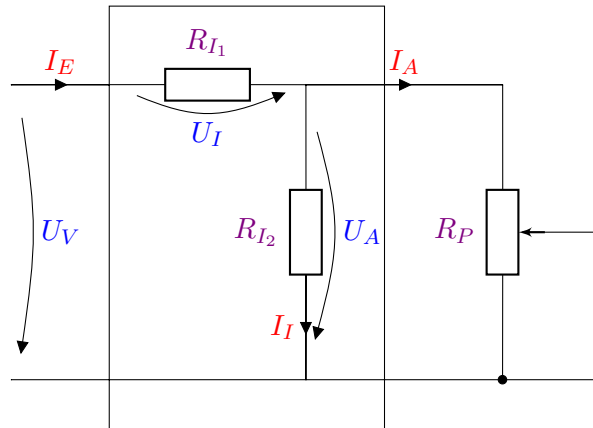


Abbildung 2.1: Verlauf: Kennlinie $U_A = f(I_A)$

Aufgabe 2:

Beschreiben Sie das Netzwerk als Ersatzspannungsquelle. (Ersatzschaltbild grafisch darstellen und mathematische Beschreibung für die Ausgangsspannung U_A und den Innenwiderstand R_I)

Da die Ströme I_E und I_A sich unterscheiden muss es sich um einen belasteten Spannungsteiler handeln:



$$R_I = R_{I1} + R_{||}$$

$$R_{||} = \frac{R_{I2} \cdot R_P}{R_{I2} + R_P}$$

$$R_I = R_{I1} + \frac{R_{I2} \cdot R_P}{R_{I2} + R_P}$$

$$U_V = I_E \cdot (R_{I1} + R_{||})$$

Mit: $I_E = \frac{U_A}{R_{||}}$

$$U_A = U_V \cdot \frac{R_{||}}{R_{I1} + R_{||}}$$

Mit: $R_{||} = \frac{R_{I2} \cdot R_P}{R_{I2} + R_P}$

$$U_A = U_V \cdot \frac{R_{I2} \cdot R_P}{R_{I1} \cdot R_{I2} + R_{I1} \cdot R_P + R_{I2} \cdot R_P}$$

Aufgabe 3:

Berechnen Sie aus den Messwerten für alle Lastfälle den Innenwiderstand R_i , des als Ersatzspannungsquelle beschriebenen Netzwerkes.

s.h. Tabelle 2.1

Aufgabe 4:

Welche und wie viele Messpunkte sind zur messtechnischen Ermittlung der Ersatzspannungsquelle eines beliebigen linearen Netzwerkes notwendig?

Die folgenden Messpunkte werden benötigt:

- Versorgungsspannung
- Ausgangsspannung
- Eingangsstrom
- Laststrom

Aus den ersten beiden kann man auf einen Spannungsteiler schließen. Mit den letzten beiden kann ein Stromteiler bestimmt werden. Mit den Werten aus diesen Punkten kann dann die Ersatzspannungsquelle errechnet werden

Aufgabe 5:

Berechnen Sie für das Netzwerk den Wirkungsgrad aus den Messwerten von Aufgabe 1. Tragen Sie diese Werte in die Messwertetabelle ein. Stellen Sie die Lastkurve P_A und den Wirkungsgrad in Abhängigkeit von R_A und I_A graphisch dar.

$$\text{Wirkungsgrad} = \frac{U_A \cdot \frac{I_A}{1000}}{12 \text{ V} \cdot \frac{I_E}{1000}}$$

s.h. Tabelle 2.1

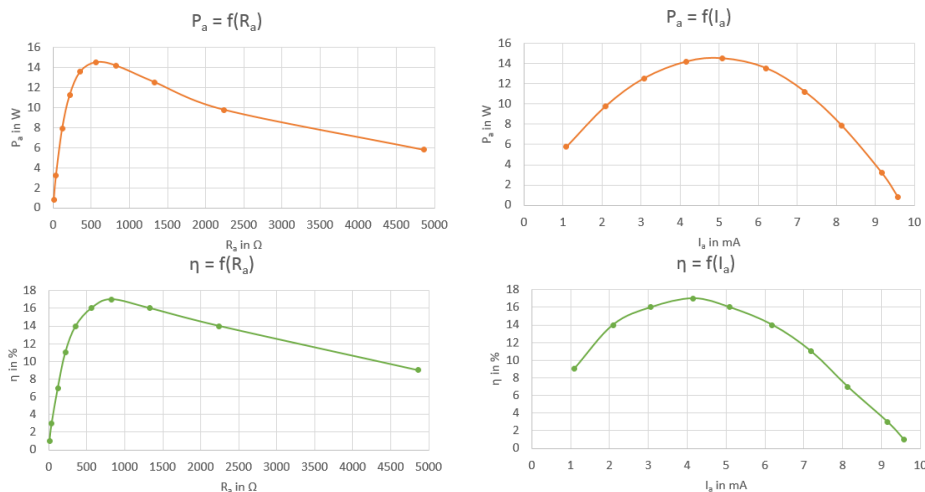


Abbildung 2.2: Abhängigkeit von P_A

Aufgabe 6:

Ermitteln Sie aus der Lastkurve den Punkt für Leistungsanpassung (Übertragung der größten Nutzleistung, nachrichtentechnische Anpassung) Wie groß ist dabei der Wirkungsgrad? Wie groß ist das Verhältnis $\frac{R_I}{R_A}$?

R_I : Innenwiderstand des als Ersatzspannungsquelle beschriebenen Netzwerkes

Graphisch lässt sich folgendes ableiten:

Die größte Nutzleistung liegt vor, wenn der Widerstand $R_A = 600 \Omega$ beträgt und der Strom $I_A = 7,33 \text{ mA}$. Bei dieser Einstellung liegt der Wirkungsgrad bei 16 % und $\frac{R_I}{R_A} = 1,07$

Aufgabe 7:

Vergleichen Sie den messtechnisch gewonnenen Wert für die Leistungsanpassung mit dem theoretischen? Stellen Sie dazu eine Gleichung für die Nutzleistung P_A in Abhängigkeit von R_P auf. Bestimmen Sie daraus das Maximum.

$$\begin{aligned} P_A &= U_A \cdot I_A \\ &= U_A^2 \cdot \frac{1}{R_P} \\ &= \left(U_V \cdot \frac{R_{||}}{R_{I_1} + R_{||}} \right)^2 \cdot \frac{1}{R_P} \\ &= U_V^2 \cdot \frac{R_{||}^2}{(R_{I_1} + R_{||})^2} \cdot \frac{1}{R_P} \\ &= U_V^2 \cdot \frac{R_{||}^2}{R_{I_1}^2 + R_{||}^2 + 2 \cdot R_{I_1} \cdot R_{||}} \cdot \frac{1}{R_P} \end{aligned}$$

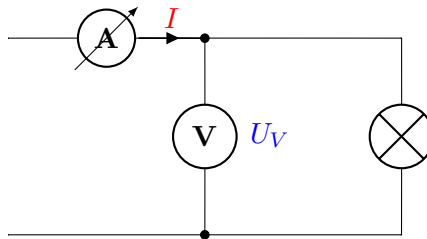
Ohne Kenntnis von gewünschtem U_A oder den Widerständen R_{I_1} und R_{I_2} lässt es sich nicht berechnen. Theoretisch sollte die Größte Leistungsanpassung bestehen, wenn $\frac{R_I}{R_A} = \frac{1}{1}$

3 Nichtlineare Bauelemente

3.1 Strom- Spannung- Kennlinie einer Glühbirne

Messaufbau:

- 1 Glühbirne (12 V, 3 W) mit Fassung



3.1.1 Messaufgaben

Messaufgabe M1

Aufgabe: Nehmen Sie die Strom-Spannungs-Kennlinie $I = f(U_V)$ einer Glühbirne auf.

Durchführung: Messschaltung aufbauen. Die Spannung U am Bauelement einstellen. Ändern Sie dazu die Versorgungsspannung U in 1 V Schritten von ca. 0 V bis 12 V. Messwertetabelle für U , I und $R_A = \frac{U}{I}$ anlegen.

Ergebnisse:

Tabelle 3.1: Messwertetabelle zur Messaufgabe 3.1.M1

$U[\text{V}]$	$I[\text{mA}]$	$R_A = \frac{U}{I}[\Omega]$
0	0	0
1	63,4	15,77
2	83,1	24,07
3	99,5	30,15
4	115,3	34,69
5	130,0	38,46
6	143,8	41,72
7	156,9	44,61
8	169,1	47,31
9	181,0	49,72
10	192,3	52,00
11	203,3	54,11
12	213,9	56,10

3.1.2 Auswertung

Aufgabe 1

Zeichnen Sie $U = f(I)$

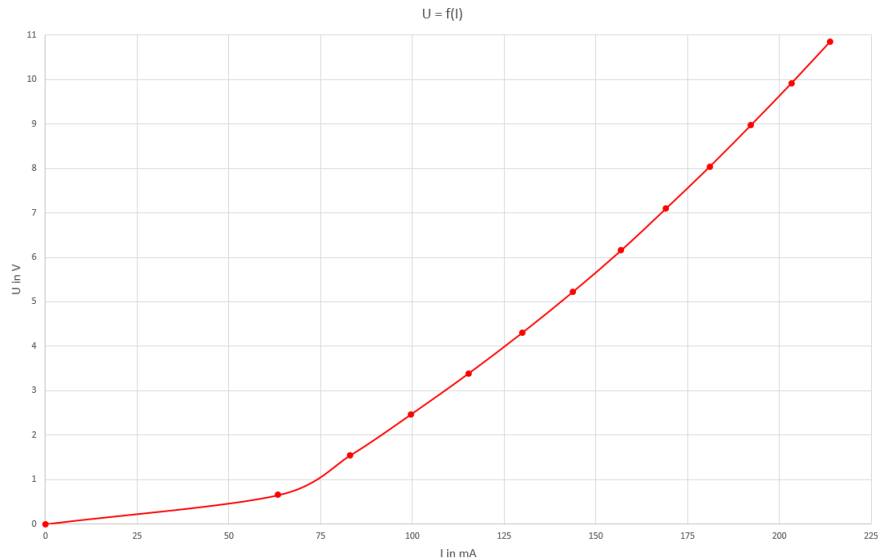


Abbildung 3.1: $U = f(I)$

Aufgabe 2

Führen Sie eine Näherung durch, in dem Sie den Strom/ Spannungsverlauf der Glühbirne durch 2 lineare Geradenstücke ersetzen. Beschreiben Sie damit das elektrische Verhalten der Glühbirne (Ermittlung der Widerstände für diese 2 Bereiche). Welche Widerstandsarten können Sie hieraus ableiten? Begründen Sie es.

Bei ca. 0,9 V ändert sich der Verlauf der Linien. Der Widerstand der Glühbirne nimmt kontinuierlich zu.

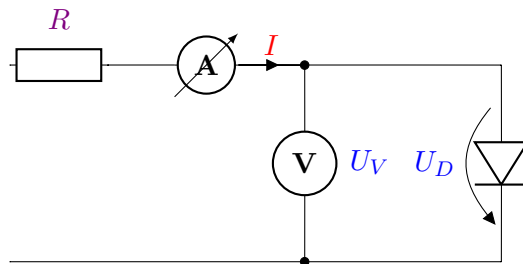
Bis ca. 0,9 V besitzt die Glühbirne einen Widerstand von ca. $15\ \Omega$. Mit steigender Spannung steigt auch der Widerstand und nähert sich bei 12 V $57\ \Omega$ an.

Daraus lassen sich zwei Arten von Widerständen ableiten: Lineare (ohm'sche) Widerstände und nichtlineare Widerstände. Im Fall der Glühbirne steigt der Widerstand, da der Draht zu glühen anfängt. Der Widerstand ist von der Temperatur abhängig, je größer die Temperatur desto größer der Widerstand.

3.2 Kennlinie einer Z-Diode (Z - Diode in Durchlassrichtung)

Messaufbau:

- 1 Widerstand $R = 470\ \Omega$, 2 W
- 1 Z-Diode, Typ ZPD6V2 oder ZPD5V2



3.2.1 Messaufgaben

Messaufgabe M1

Aufgabe: Nehmen Sie die Kennlinie der Z - Diode $U_D = f(I_D)$ in Durchlassrichtung auf

Durchführung: Messschaltung aufbauen. Die Versorgungsspannung $U_V = 0\text{ V}$ einstellen. Mit U_V die Diodenspannung U_D schrittweise erhöhen (im Durchlassbereich 0,05 V Schritte) bis der Diodenstrom $I_D = 40\text{ mA}$ beträgt. Messwertetabelle für U_D , I_D und $R_D = \frac{U_D}{I_D}$ anlegen oder gegebene benutzen.

Ergebnisse:

Tabelle 3.2: Messwertetabelle zur Messaufgabe 3.2.M1

U_V [V]	U_D [V]	I_D [mA]	$R_D = \frac{U_D}{I_D}$ [Ω]
0	0	0	∞
0,05	0,05	0	∞
0,1	0,1	0	∞
0,15	0,15	0	∞
0,5	0,5	0	∞
0,55	0,55	0,01	55000
0,61	0,6	0,02	30000
0,69	0,65	0,09	7222,22
0,88	0,7	0,37	1891,89
1,67	0,75	1,9	394,74
5,62	0,8	9,93	80,56
21,77	0,85	43,2	19,68

3.2.2 Auswertung

Aufgabe 1

Stellen Sie die Kennlinie graphisch als Funktion $I = f(U_D)$ dar

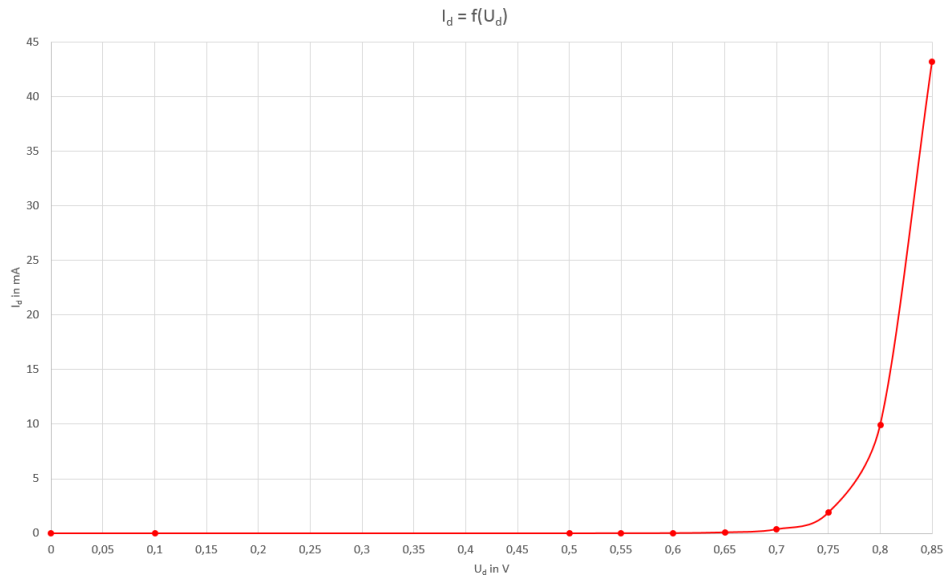


Abbildung 3.2: $I = f(U_D)$

Aufgabe 2

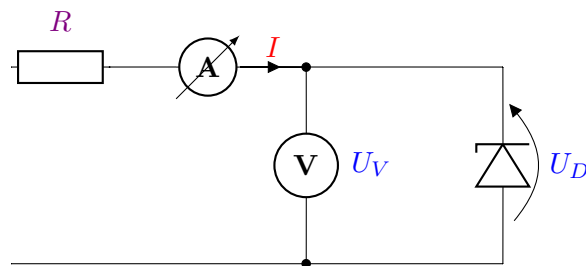
Nähern Sie die Kennlinie durch eine lineare Gerade an. Beschreiben Sie diesen Zusammenhang mathematisch als Funktion $I_D = a + m \cdot U_D$. Was bedeutet die Konstante a und m ? An welchem Punkt schneiden sich Näherungsgerade und X-Achse, was beschreibt dieser Punkt?

Die Kennlinie lässt sich durch die Gerade $I_D = -500 + 640 \cdot U_D$ annähern. Der Schnittpunkt mit der x-Achse liegt bei $U_D = 0,78$ V und beschreibt die Schwellenspannung der Diode, ab welcher es einen Stromfluss gibt. Der Wert $m = 640$ ist vom Diodentyp abhängig und nähert die Steigung des Diodenstroms abhängig von der Spannung an. Der Wert $a = 500$ ergibt sich aus Schwellenspannung und m .

3.3 Kennlinie einer Z-Diode (Z - Diode in Sperrrichtung)

Messaufbau:

- 1 Widerstand $R = 470\ \Omega$, 2 W
- 1 Z-Diode, Typ ZPD6V2 oder ZPD5V2



3.3.1 Messaufgaben

Messaufgabe M1

Aufgabe: Nehmen Sie die Kennlinie der Z - Diode $U_D = f(I_D)$ in Sperrrichtung auf

Durchführung: Messschaltung aufbauen. Die Versorgungsspannung $U_V = 0\text{ V}$ einstellen. Mit U_V die Diodenspannung U_D schrittweise erhöhen (im Sperrbereich 0,5 V Schritte) bis der Diodenstrom $I_D = 40\text{ mA}$ beträgt. Messwerte für U_D , I_D und $R_D = \frac{U_D}{I_D}$ protokollieren.

Ergebnisse:

Tabelle 3.3: Messwertetabelle zur Messaufgabe 3.3.M1

U_V [V]	U_D [V]	I_D [mA]	$R_D = \frac{U_D}{I_D}$ [Ω]
0	0	0	∞
0,5	0,5	0	∞
1	1	0	∞
5	5	0	∞
5,5	5,5	0,01	550000
6	6	0,04	150000
25,8	6,41	40	160,25

3.3.2 Auswertung

Aufgabe 1:

Tragen Sie diesen Kennlinienteil in die graphische Darstellung aus Übung 3.2 ein. Beachten Sie dabei die Polarität der Diodenspannung und des Diodenstromes.

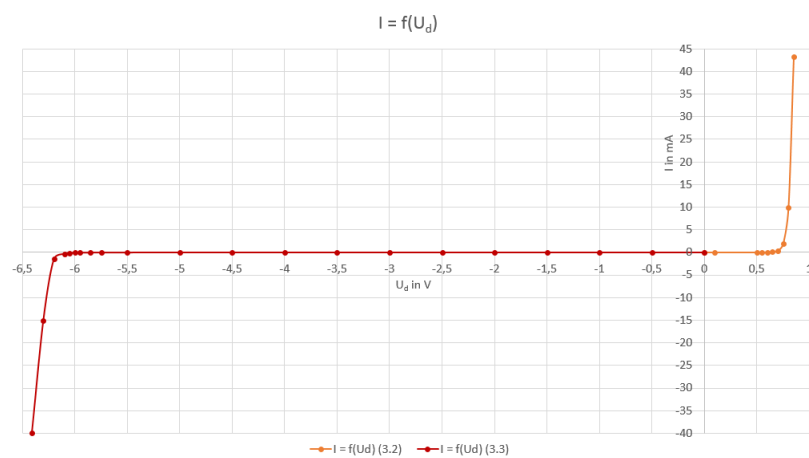


Abbildung 3.3: $I_D = f(U_D)$

Aufgabe 2:

Nähern Sie diesen Kennlinienverlauf durch eine lineare Gerade an. Beschreiben Sie diesen Zusammenhang mathematisch als Funktion $I_D = a + m \cdot U_D$. Was beschreiben die Konstanten a und m ? An welchem Punkt schneiden sich Näherungsgerade und X-Achse?

Die Kennlinie lässt sich durch die Gerade $I_D = 1245 + 200 \cdot U_D$ annähern. Der Schnittpunkt mit der x-Achse liegt bei $U_D = -6,225 \text{ V}$ und beschreibt die Schwellenspannung der Diode in Sperrrichtung, ab welcher der Diodenstrom schlagartig zunimmt. Der Wert für a wird wieder aus den anderen beiden Werten berechnet.

Aufgabe 3:

Interpretieren Sie die gesamte Kennlinie.

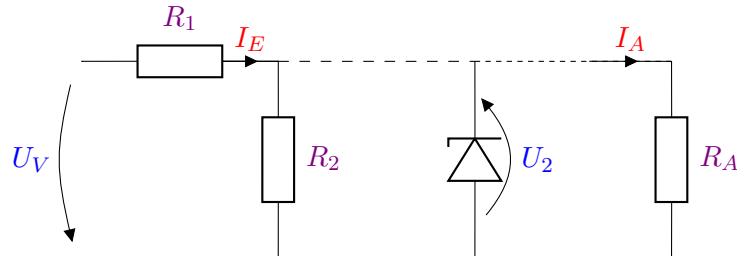
An der Kennlinie lässt sich erkennen, dass die Z-Diode sowohl in Sperrrichtung(3.3), als auch in Durchlassrichtung(3.2) jeweils eine Schwellenspannung besitzt, bis zu deren Erreichen nur ein minimaler, nicht messbarer Strom fließt. Bis zu diesen Schwellenwerten wirkt die Diode als sehr großer Widerstand. Jenseits der Schwellenwerte steigt der Strom schlagartig an.

4 Zusammenschaltung linearer und nichtlinearer Netzwerke

4.1 Belastung eines Festspannungsteilers mit einer Z - Diode

Messaufbau:

- 1 Widerstand $R_1 = 470\ \Omega$, 2 W
- 1 Widerstand $R_2 = 1\ \text{k}\Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 100\ \Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 470\ \Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 1\ \text{k}\Omega$
- 1 Widerstand $R_A = 2\ \text{k}\Omega$
- 1 Z-Diode, Typ ZPD6V2 oder ZPD5V2



4.1.1 Messaufgaben

Messaufgabe M1

Aufgabe: Kennlinie $U_2 = f(I_A)$ des Spannungsteilers R_1, R_2 messtechnisch nach dem Verfahren der Ersatzspannungsquelle ermitteln.

Durchführung: Messschaltung zunächst nur mit R_1 und R_2 aufbauen. Versorgungsspannung $U_V = 12\text{ V}$ einstellen. Ausgangskennlinie $U_2 = f(I_A)$ ermitteln und notieren.

Ergebnisse:

$$U_2 = 8,07\text{ V}$$

$$I_A = 8,18\text{ V}$$

Damit ergibt sich die Funktion:

$$\begin{aligned} I_A &= \frac{U_V}{R_1 + R_2} \\ &= \frac{U_V}{1470\ \Omega} \end{aligned}$$

Außerdem gilt:

$$U_2 = U_V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Messaufgabe M2

Aufgabe: Spannungsteiler mit Z-Diode belasten. Spannung U_2 , Strom I_E und I_A messen und aufschreiben.

Ergebnisse:

$$U_2 = 6,31\text{ V}$$

$$I_E = 12,01\text{ mA}$$

$$I_A = 5,53\text{ mA}$$

Messaufgabe M3

Aufgabe: Strom- Spannungs- Kennlinie $U_2 = f(I_A)$ der Gesamtschaltung (Spannungsteiler mit Z-Diode) aufnehmen. Dazu Arbeitspunkte für $R_A = 100\ \Omega, 470\ \Omega, 1\text{ k}\Omega$ und $2\text{ k}\Omega$ messen.

Ergebnisse:

Tabelle 4.1: Messwertetabelle zur Messaufgabe 4.1.M3

$R_A[\Omega]$	$I_A[\text{mA}]$	$I_E[\text{mA}]$	$U_2[\text{V}]$
100	19,1	21,23	2,03
470	10,35	15,29	4,82
1000	6,17	12,49	6,12
2000	3,13	12,11	6,30

4.1.2 Auswertung

Aufgabe 1:

Kennlinie $U_2 = f(I_A)$ aus 4.1.M1 graphisch darstellen.

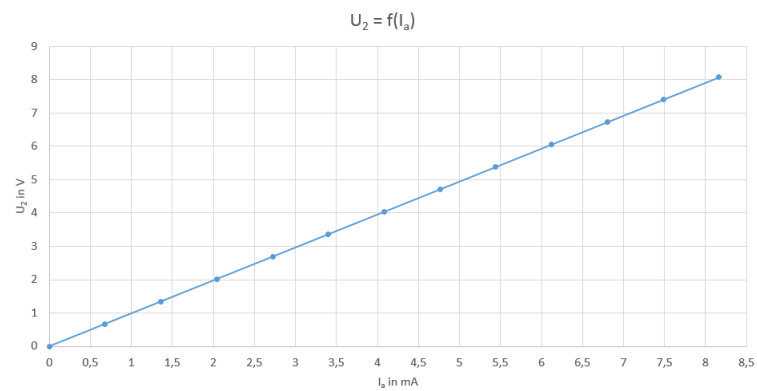


Abbildung 4.1: $U_2 = f(I_A)$

Aufgabe 2:

Kennlinie der Z-Diode aus Übung 3.3 in obige Kennlinie einzeichnen. Arbeitspunkt graphisch ermitteln. (Durchlass / Sperrrichtung angeben)

Arbeitspunkt Durchlassrichtung: 0,8 V

Arbeitspunkt Sperrrichtung: -6,2 V

s.h. Abbildung 4.2

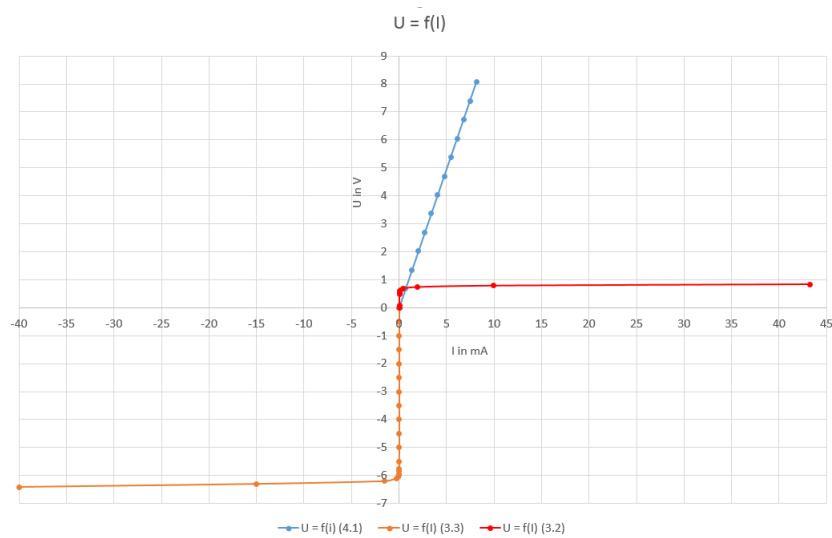


Abbildung 4.2: $I = f(U_D)$

Aufgabe 3:

Zeichnen Sie die Kennlinie zur Messaufgabe 3. s.h. Abbildung 4.4

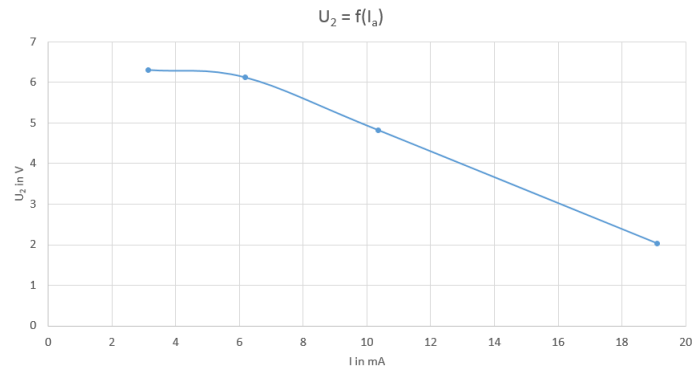


Abbildung 4.3: $U_2 = f(I_A)$

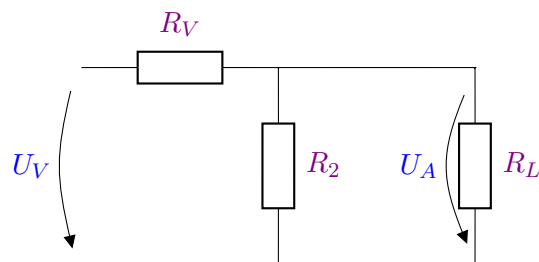
Aufgabe 4:

Was bewirkt die Z - Diode?

In Durchlassrichtung verhält sich die Z-Diode wie eine normale Diode, in Sperrrichtung leitet sie bei Erreichen der Durchbruchspannung. In dieser Schaltung sorgt die Z-Diode dafür, dass bei Erreichen der Durchbruchsspannung der Strom I_A nachlässt.

Aufgabe 5:

Die obige Schaltung soll zur Spannungsconstanthalaltung eines Verbrauchers $R_L = 470 \Omega$, bei der die Ausgangsspannung innerhalb des Bereiches $6,2 \pm 10\%$ liegen darf, eingesetzt werden. Zeichnen Sie dafür die Schaltung, berechnen Sie den Vorwiderstand R_V (Last bleibt konstant) und geben Sie den zulässigen Lastbereich an. (graphische, farbige Lösung).



- 1 Widerstand $R_V = 300 \Omega, 2 \text{ W}$
- 1 Widerstand $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$

- 1 Widerstand $R_L = 470\ \Omega$

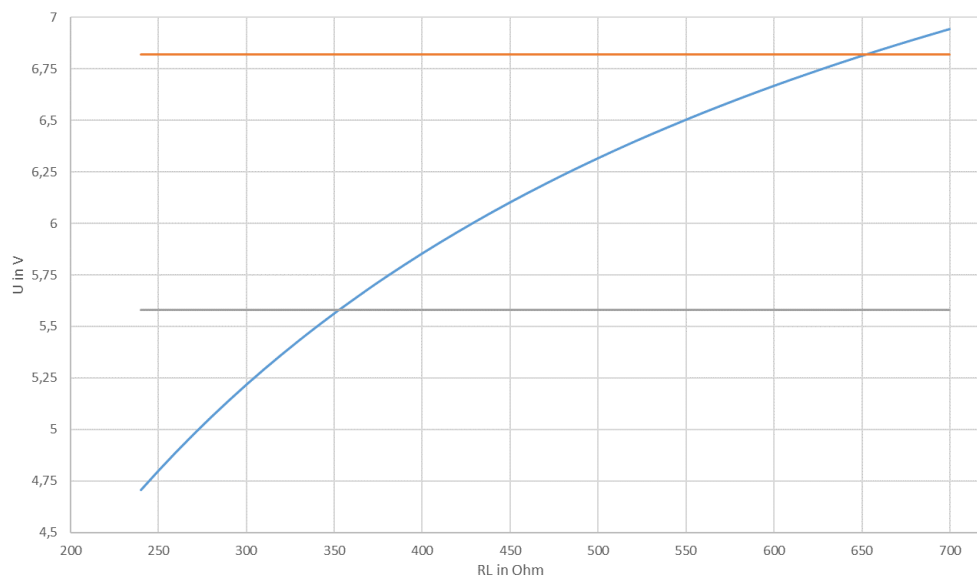


Abbildung 4.4: $U_A = f(R_L)$

Damit die Toleranz von 10% eingehalten wird darf der Lastwiderstand zwischen $353\ \Omega$ und $652\ \Omega$ gewählt werden.

Tabellenverzeichnis

1.1	Messwertetabelle zur Messaufgabe 2.1.M1	4
2.1	Messwertetabelle zur Messaufgabe 2.1.M1	7
2.2	Messwertetabelle zur Messaufgabe 2.1.M2	8
3.1	Messwertetabelle zur Messaufgabe 3.1.M1	13
3.2	Messwertetabelle zur Messaufgabe 3.2.M1	16
3.3	Messwertetabelle zur Messaufgabe 3.3.M1	19
4.1	Messwertetabelle zur Messaufgabe 4.1.M3	23

Abbildungsverzeichnis

1.1	U_A in Abhängigkeit der Potentiometerstellung	5
2.1	Verlauf: Kennlinie $U_A = f(I_A)$	8
2.2	Abhängigkeit von P_A	10
3.1	$U = f(I)$	14
3.2	$I = f(U_D)$	17
3.3	$I_D = f(U_D)$	19
4.1	$U_2 = f(I_A)$	23
4.2	$I = f(U_D)$	24
4.3	$U_2 = f(I_A)$	25
4.4	$U_A = f(R_L)$	26