

Übung 1 – Elektronische Schaltungen (ES)

Sommersemester 2020

Grundlagen + Passive Komponenten + Dioden

INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZTECHNIK UND ELEKTRONIK



Organisatorisches

1. Tutorium:

- Termin: diese Woche
- Abgabe: Aufgabe 1 & 2
- Pro Tutorium können 6 Bonuspunkte erzielt werden

Formelsammlung:

- Verfügbar in Ilias, bitte herunterladen und benutzen

Probeklausur:

- Donnerstag, 23.07.2020

PASSIVE KOMPONENTEN

- Widerstand
- Kondensator
- Spule

Passive Komponenten

■ Schaltungsanalyse

- Einschwingverhalten – Betrachtung des Zeitsignals
- Gleichgewichtszustand (Stationäre Analyse) – Betrachtung im komplexen Raum

Passive Komponenten

■ Schaltungsanalyse

- Einschwingverhalten – Betrachtung des Zeitsignals
- Gleichgewichtszustand (Stationäre Analyse) – Betrachtung im komplexen Raum

■ Impedanz von passiven Komponenten (aus stationärer Analyse)

- Widerstand: $Z_R = R$
- Kondensator: $Z_C = -j \frac{1}{\omega C}$
- Spule: $Z_L = j\omega L$

Passive Komponenten

■ Schaltungsanalyse

- Einschwingverhalten – Betrachtung des Zeitsignals
- Gleichgewichtszustand (Stationäre Analyse) – Betrachtung im komplexen Raum

■ Impedanz von passiven Komponenten (aus stationärer Analyse)

- Widerstand: $Z_R = R$
- Kondensator: $Z_C = -j \frac{1}{\omega C}$
- Spule: $Z_L = j\omega L$

■ Gleich- und Wechselspannung

	$f = 0 \text{ Hz}$	$f \rightarrow \infty$
Widerstand	$Z_R = R$	$Z_R = R$
Kondensator	$Z_C = -j \frac{1}{2\pi \cdot 0 \text{ Hz} \cdot C} \rightarrow \infty$	$Z_C \rightarrow 0 \Omega$
Spule	$Z_L = 0 \Omega$	$Z_L \rightarrow \infty$

E Reihen – Kennzeichnung von Bauelementen

E3 ±20%	E6 ±20%	E12 ±10%	E24 ±5%	E48 ±2%	E96 ±1%	E3 ±20%	E6 ±20%	E12 ±10%	E24 ±5%	E48 ±2%	E96 ±1%
1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00					3,16	3,16
				1,05	1,02						3,24
				1,05	1,05		3,3	3,3	3,3	3,32	3,32
				1,07	1,07					3,40	3,40
			1,1	1,10	1,10					3,48	3,48
				1,13	1,13					3,57	3,57
				1,15	1,15				3,6	3,65	3,65
				1,18	1,18					3,75	3,75
	1,2	1,2	1,2	1,21	1,21					3,83	3,83
				1,24	1,24			3,9	3,9	3,92	3,92
				1,27	1,27					4,02	4,02
			1,3	1,30	1,30					4,12	4,12
				1,33	1,33					4,22	4,22
				1,37	1,37				4,3	4,32	4,32
				1,40	1,40					4,42	4,42
				1,43	1,43					4,53	4,53
	1,5	1,5	1,5	1,47	1,47	4,7	4,7	4,7	4,7	4,64	4,64
				1,50	1,50					4,75	4,75
				1,54	1,54					4,87	4,87
				1,58	1,58					4,99	4,99
			1,6	1,62	1,62				5,1	5,11	5,11
				1,65	1,65					5,23	5,23
				1,69	1,69					5,36	5,36
				1,74	1,74					5,49	5,49
				1,78	1,78			5,6	5,6	5,62	5,62
		1,8	1,8	1,82	1,82					5,76	5,76
				1,87	1,87					5,90	5,90
				1,91	1,91					6,04	6,04
				1,96	1,96				6,2	6,19	6,19
			2,0	2,00	2,00					6,34	6,34
				2,05	2,05					6,49	6,49
				2,10	2,10					6,65	6,65
2,2	2,2	2,2	2,2	2,15	2,15	6,8	6,8	6,8	6,8	6,81	6,81
				2,21	2,21					6,98	6,98
				2,26	2,26					7,15	7,15
				2,32	2,32					7,32	7,32
				2,37	2,37				7,5	7,50	7,50
			2,4	2,43	2,43					7,68	7,68
				2,49	2,49					7,87	7,87
				2,55	2,55					8,06	8,06
				2,61	2,61			8,2	8,2	8,25	8,25
				2,67	2,67					8,45	8,45
		2,7	2,7	2,74	2,74					8,66	8,66
				2,80	2,80					8,87	8,87
				2,87	2,87				9,1	9,09	9,09
				2,94	2,94					9,31	9,31
			3,0	3,01	3,01					9,53	9,53
				3,09	3,09					9,76	9,76

- Genormte Folge
- Für Widerstände, Kondensatoren, Spulen und Zener Dioden
- n-Reihe: n Werte pro Dekade
- Logarithmische Verteilung
- Stufenfaktor:

$$k = \sqrt[n]{10^m}$$

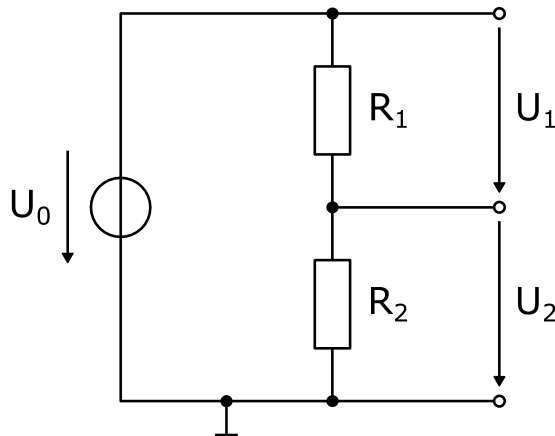
$$n = 24, \quad m = 4$$

$$k = \sqrt[24]{10^4} = 1,47 \approx 1,5$$

Aufgabe 1

Ohmsches Gesetz: $U = R \cdot I$

a) Rechnerische Bestimmung von U_1 und U_2



$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 8 \text{ k}\Omega \\ U_0 &= 10 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_1 &= R_1 \cdot I \\ \text{mit } I &= \frac{U_0}{R_1 + R_2} \\ &= R_1 \cdot \frac{U_0}{R_1 + R_2} \quad \hat{=} \text{ Spannungsteiler:} \\ &= 2 \text{ k}\Omega \cdot \frac{10 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 8 \text{ k}\Omega} \quad \frac{U_1}{U_0} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \\ &= 2 \text{ V} // \\ U_2 &= U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ V} \cdot \frac{8 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega + 8 \text{ k}\Omega} \\ &= 8 \text{ V} // \end{aligned}$$

Aufgabe 1

Widerstandsgerade: $I = \frac{1}{R} \cdot U$

↳ Steigung

b) Zeichnerische Bestimmung von U_1 und U_2

für R_1 :

$$I = \frac{1}{R_1} \cdot U_1 = \frac{1}{2} \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot U_1$$

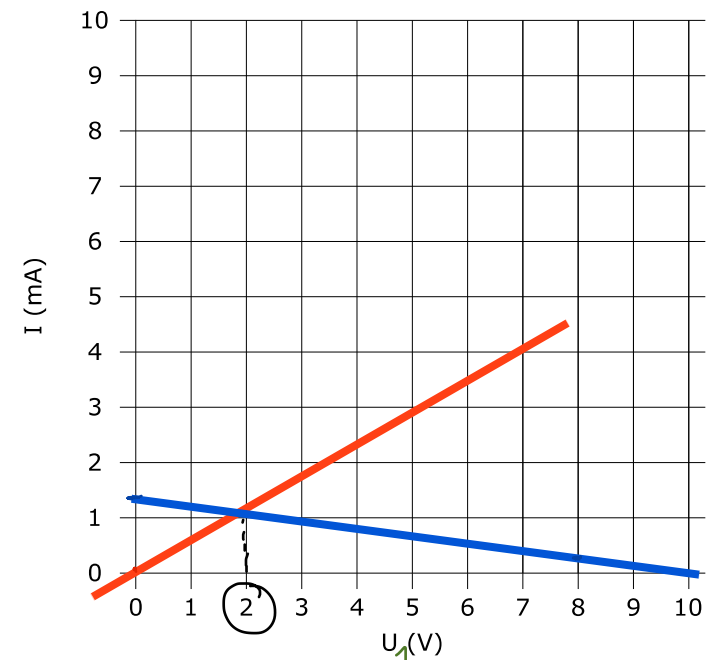
für R_2 :

$$I = \frac{1}{R_2} \cdot U_2 = \frac{1}{R_2} \cdot (U_0 - U_1)$$

$$= - \frac{1}{R_2} \cdot U_1 + \frac{U_0}{R_2}$$

$$= - \frac{1}{8} \frac{\text{mA}}{\text{V}} \cdot U_1 + 1,25 \text{ mA}$$

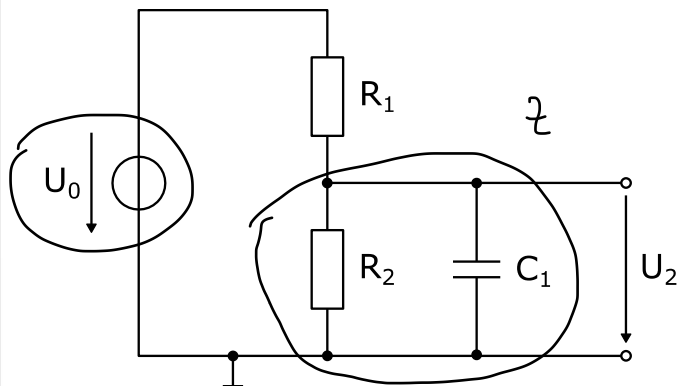
$$\Rightarrow U_1 = 2 \text{ V} //$$



Aufgabe 1

Impedanz Kondensator: $Z_C = 1/(j\omega C)$

c) Bestimmung von U_2



$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \text{ k}\Omega \\ R_2 &= 8 \text{ k}\Omega \\ U_0 &= 10 \text{ V} \\ C_1 &= 1 \text{ }\mu\text{F} \end{aligned}$$

$$U_2 = U_0 \cdot \frac{z}{R_1 + z}$$

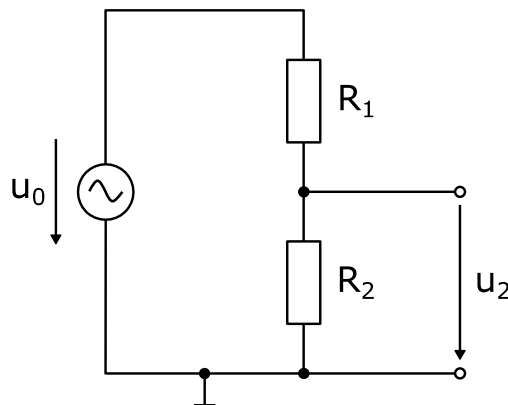
$$\begin{aligned} z &= R_2 \parallel \frac{1}{j\omega C_1} = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{R_2 + \frac{1}{j\omega C_1}} = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j\omega C_1}}{\frac{j\omega C_1 R_2 + 1}{j\omega C_1}} \\ &= \frac{R_2}{1 + j\omega C_1 R_2} \end{aligned}$$

$$f = 0 \text{ Hz} \rightarrow z = R_2$$

$$\hookrightarrow U_2 = U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ V} \cdot \frac{8 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 8 \text{ V}$$

Aufgabe 1

d) Bestimmung von $|u_2|$:



$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 8 \text{ k}\Omega$$

$$u_0 = 10 \text{ V} + 2 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$$

↙ Gleich
S.a.

↘ Wechsel
S.a.

Beim Gleichspannungsanteil: $|u_0| = 10 \text{ V}$

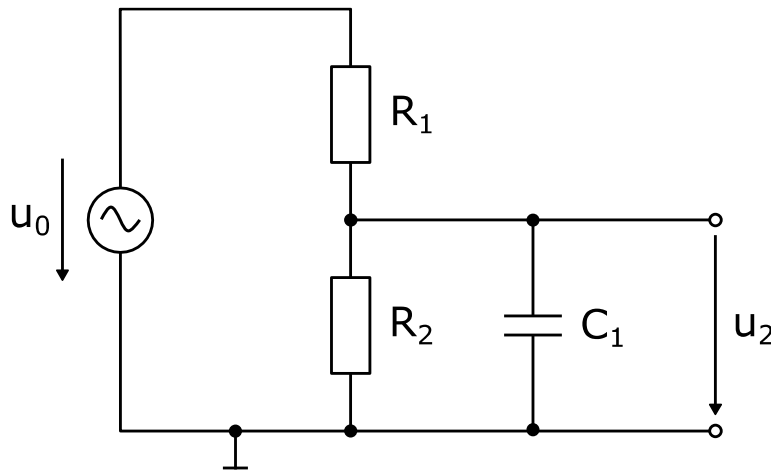
$$|u_2| = |u_0| \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 8 \text{ V} //$$

Beim Wechselspannungsanteil: $|u_0| = 2 \text{ V}$

$$|u_2| = 2 \text{ V} \cdot \frac{8 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} = 1,6 \text{ V} //$$

Aufgabe 1

e) Bestimmung von $|u_2|$



$$R_1 = 2 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 8 \text{ k}\Omega$$

$$u_0 = 10 \text{ V} + 2 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$$

$$C_1 = 1 \text{ }\mu\text{F}$$

$$f_1 = 1 \text{ kHz}, f_2 = 10 \text{ kHz}, f_3 = 100 \text{ kHz}$$

$$|u_2| = |u_0| \cdot \frac{|z|}{|R_1 + z|}$$

$\hookrightarrow 2 \text{ V}$

1. Berechnung von $|z|$

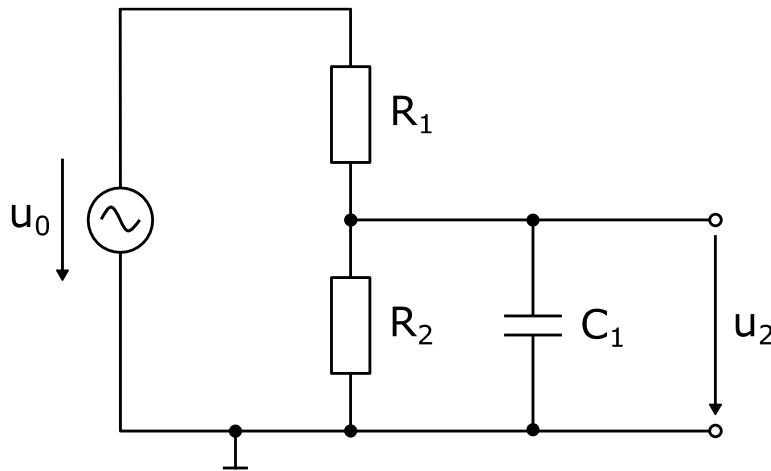
$$z = \frac{R_2}{1 + j\omega C_1 R_2}, \quad |z| = \frac{R_2}{\sqrt{1^2 + (\omega C_1 R_2)^2}}$$

2. Berechnung von $|R_1 + z|$

$$R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega C_1 R_2} = \frac{R_1 + j\omega C_1 R_2 + R_2}{1 + j\omega C_1 R_2}$$

Aufgabe 1

e) Bestimmung von $|u_2|$



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 2 \text{ k}\Omega \\
 R_2 &= 8 \text{ k}\Omega \\
 u_0 &= 10 \text{ V} + 2 \text{ V} \cdot \sin(\omega t) \\
 C_1 &= 1 \text{ }\mu\text{F} \\
 f_1 &= 1 \text{ kHz}, f_2 = 10 \text{ kHz}, f_3 = 100 \text{ kHz}
 \end{aligned}$$

$$|u_2| = |u_0| \cdot \frac{|Z|}{|R_1 + Z|}$$

$\hookrightarrow 2 \text{ V}$

1. Berechnung von $|Z|$

$$Z = \frac{R_2}{1 + j\omega C_1 R_2}, \quad |Z| = \frac{R_2}{\sqrt{1^2 + (\omega C_1 R_2)^2}}$$

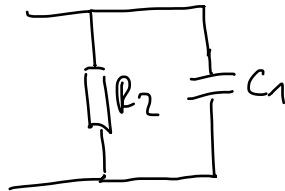
2. Berechnung von $|R_1 + Z|$

$$R_1 + \frac{R_2}{1 + j\omega C_1 R_2} = \frac{R_1 + j\omega C_1 R_2 + R_2}{1 + j\omega C_1 R_2}$$

	$f_1 = 1 \text{ kHz}$	$f_2 = 10 \text{ kHz}$	$f_3 = 100 \text{ kHz}$
$ Z $	$160 \text{ }\Omega$	$16 \text{ }\Omega$	$1,6 \text{ }\Omega$
$ R_1 + Z $	$2010 \text{ }\Omega$	$2000 \text{ }\Omega$	$2000 \text{ }\Omega$
$ u_2 $	$0,16 \text{ V}$	16 mV	$1,6 \text{ mV}$

Aufgabe 1

f) f , sodass C_1 als Kurzschluss betrachtet werden kann



$$\Rightarrow \left| \frac{1}{j\omega C_1} \right| \ll R_2$$

$$\Leftrightarrow f \gg \frac{1}{2\pi C_1 R_2} \approx 20 \text{ Hz}$$

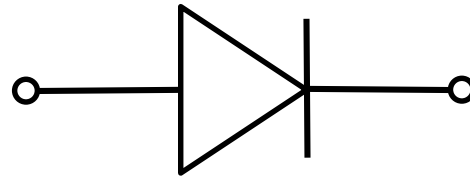
DIODE

- Grundlagen
- Kennlinie

Aufgabe 2

a) Wie hängt der Strom I im Idealfall von der Spannung U ab ?

1. Exponentiell
2. Linear
3. Quadratisch



Aufgabe 2

a) Wie hängt der Strom I im Idealfall von der Spannung U ab ?

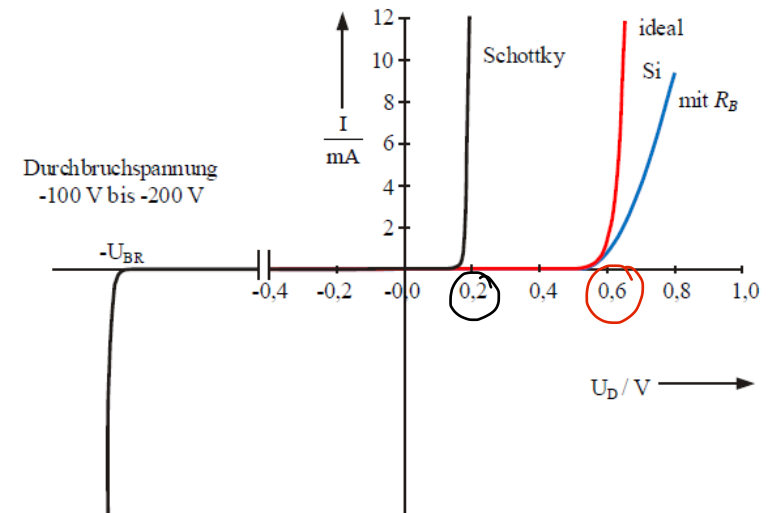
1. Exponentiell
2. Linear
3. Quadratisch

Aus Formelsammlung:

Diode

Diodenstrom:

$$I = I_s \cdot \left[e^{\left(\frac{U}{U_T}\right)} - 1 \right] \text{ mit } U_T = \frac{k_B \cdot T}{e}$$

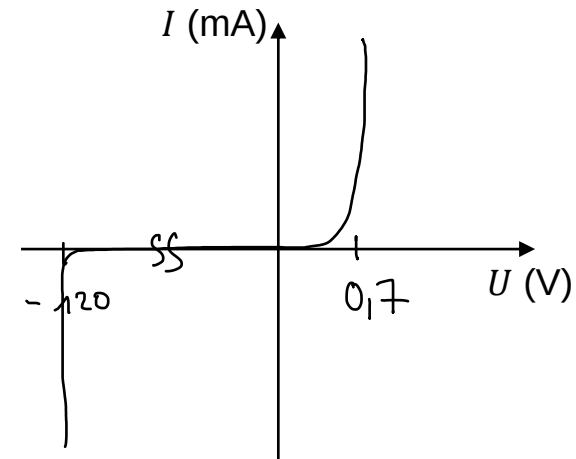
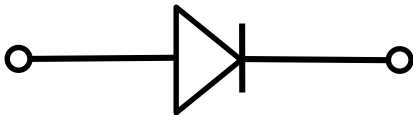


ES-Skript

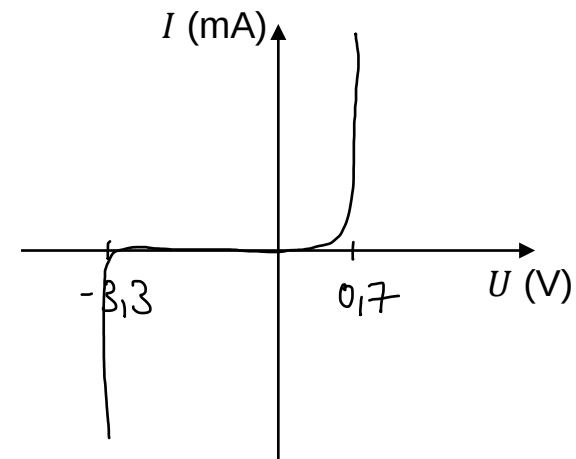
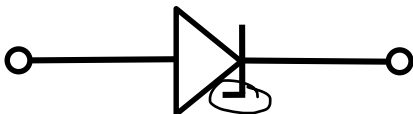
Aufgabe 2

I/U Kennlinie von:

b) Si-Diode mit $U_{Br} = -120 \text{ V}$



c) Z-Diode mit $U_Z = -3,3 \text{ V}$



ANWENDUNGEN DIODE

- Gleichrichterschaltung
- Spannungsstabilisierung

Aufgabe 3

a) Schaltung, um Sensor betreiben zu können

Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

$$I_L = 10 \text{ mA}$$

Quelle:

$$U_0 = 12 \text{ V}$$

Aufgabe 3

a) Schaltung, um Sensor betreiben zu können

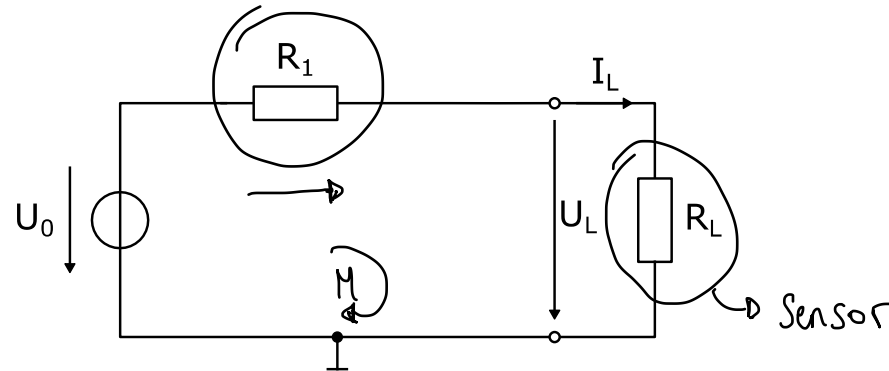
Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

$$I_L = 10 \text{ mA}$$

Quelle:

$$U_0 = 12 \text{ V}$$



$$R_1 = \frac{U_0 - U_L}{I_L} = \frac{12 \text{ V} - 5,1 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 690 \Omega$$

$$R_1 = 680 \Omega$$

Aus Formelsammlung

E 24 – Reihe

1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,7
3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 4,3 | 4,7 | 5,1 | 5,6 | 6,2 | 6,8 | 7,5
8,2 | 9,1

Aufgabe 3

b) ges: ΔU_L , P bei mittlerem Lastwiderstand

Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

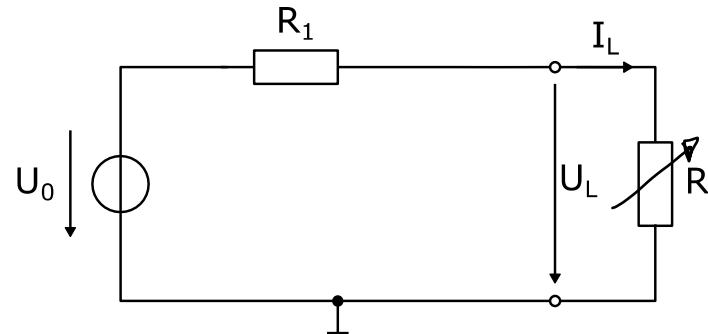
$$I_L \text{ variiert} \rightarrow Z_L = 545 \Omega \dots 1,13 \text{ k}\Omega$$

Quelle:

$$U_0 = 12 \text{ V}$$

Widerstand (aus a):

$$R_1 = 680 \Omega$$



Spannungsteiler:

$$U_{L,\min} = U_0 \cdot \frac{R_{L,\min}}{R_1 + R_{L,\min}} = 12 \text{ V} \cdot \frac{545 \Omega}{680 \Omega + 545 \Omega} \approx 5,34 \text{ V}$$

$$U_{L,\max} = 12 \text{ V} \cdot \frac{1,13 \text{ k}\Omega}{680 \Omega + 1,13 \text{ k}\Omega} \approx 7,49 \text{ V}$$

$$\Delta U_L = 2,15 \text{ V}$$

Aufgabe 3

b) ges: ΔU_L , P bei mittlerem Lastwiderstand

Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

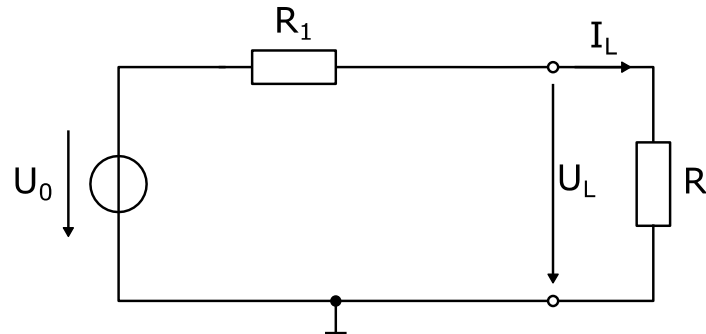
$$I_L \text{ variiert} \rightarrow Z_L = 545 \Omega \dots 1,13 \text{ k}\Omega$$

Quelle:

$$U_0 = 12 \text{ V}$$

Widerstand (aus a):

$$R_1 = 680 \Omega$$



mittl. Lastwiderstand: $\bar{R}_L = \frac{545 \Omega + 1,13 \text{ k}\Omega}{2} = 837,5 \Omega$

Verlustleistung: $P = \frac{U_{R1}^2}{R_1}$

mit $U_{R1} = U_0 \cdot \frac{R_1}{R_1 + \bar{R}_L} = 5,38 \text{ V}$

$$= \frac{(5,38 \text{ V})^2}{680 \Omega}$$

$$= 42,6 \text{ mW}$$

Aufgabe 3

c) ges: ΔU_L

Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

$$I_L \text{ variiert} \rightarrow Z_L = 545 \Omega \dots 1,13 \text{ k}\Omega$$

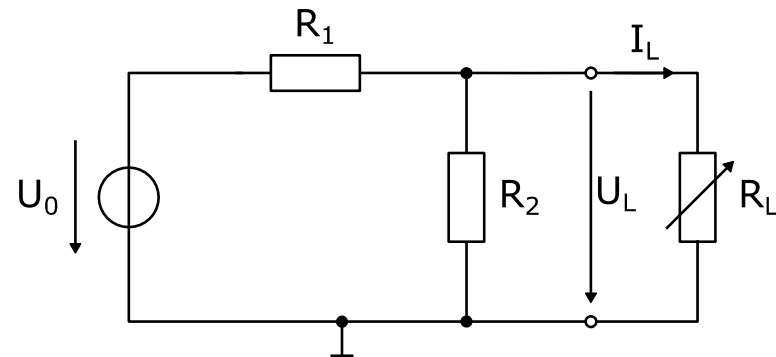
Quelle:

$$U_0 = 12 \text{ V}$$

Widerstand (aus a):

$$R_1 = 39 \Omega$$

$$R_2 = 30 \Omega$$



Spannungsteiler:

$$U_L = U_0 \cdot \frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} = U_0 \cdot \frac{\frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L}}{R_1 + \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L}} = U_0 \cdot \frac{R_2 (R_L')}{R_1 R_2 + R_1 (R_L') + R_2 (R_L')}$$

$$\left. \begin{array}{l} U_{L, \min} = 5,06 \text{ V} \\ U_{L, \max} = 5,14 \text{ V} \end{array} \right\} \Delta U_L = 0,08 \text{ V}$$

Aufgabe 3

d) ges: Nachteil der Schaltung → Berechnung P

Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

$$I_L \text{ variiert} \rightarrow Z_L = 545 \Omega \dots 1,13 \text{ k}\Omega$$

Quelle:

$$U_0 = 12 \text{ V}$$

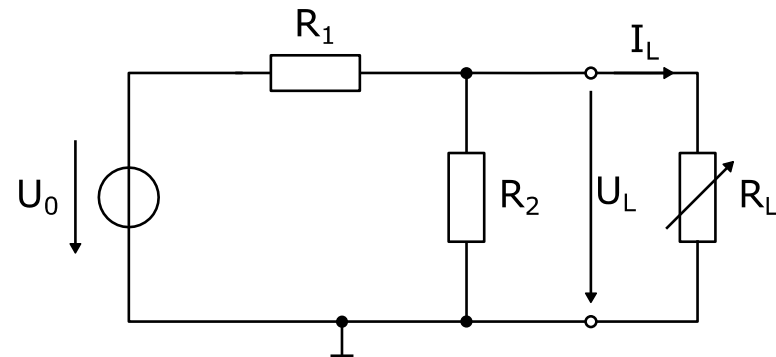
Widerstand (aus a):

$$R_1 = 39 \Omega$$

$$R_2 = 30 \Omega$$

Mittlerer Lastwiderstand (aus b):

$$\bar{R}_L = 837,5 \Omega$$



$$P_{R1} = \frac{U_{R1}^2}{R_1}$$

$$= 1,22 \text{ W}$$

$$P_{R2} = \frac{U_{R2}^2}{R_2}$$

$$= 0,87 \text{ W}$$

$$P_{\bar{R}_L} = \frac{U_{R2}^2}{\bar{R}_L} = \frac{5,11 \text{ V}}{837,5 \Omega} = 0,03 \text{ W}$$

$$\text{mit } U_{R1} = U_0 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \bar{R}_L} = U_0 \cdot \frac{R_1 \cdot (R_2 + \bar{R}_L)}{R_1(R_2 + \bar{R}_L) + R_2 \cdot \bar{R}_L}$$

$$= 6,89 \text{ V}$$

$$\text{mit } U_{R2} = U_0 - U_{R1} = 12 \text{ V} - 6,89 \text{ V} = 5,11 \text{ V}$$

Hohe Verlustleistung

Aufgabe 3

f) ges: ΔU_L

Sensor als Last:

$$U_L = 5,1 \text{ V}$$

$$I_L \text{ variiert} \rightarrow Z_L = 545 \Omega \dots 1,13 \text{ k}\Omega$$

Quelle:

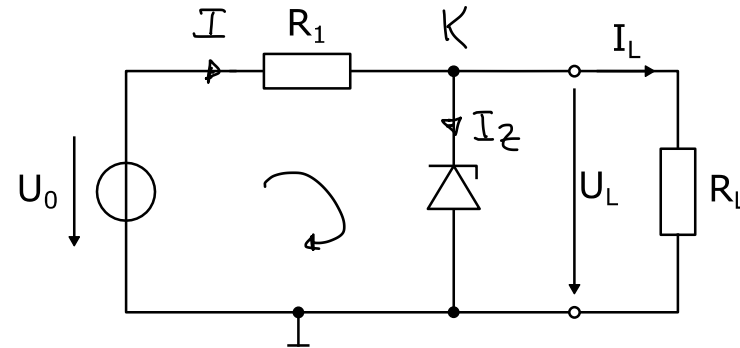
$$U_0 = 12 \text{ V}$$

Widerstand:

$$R_1 = 560 \Omega$$

Zener-Diode:

$$U_Z = 5,1 \text{ V bei } I_Z = 3 \text{ mA}$$



Last gerade : $I_Z(U_Z)$

$$I_Z = I - I_L = \frac{U_0 - U_Z}{R_1} - \frac{U_Z}{R_L}$$

$$= -U_Z \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_L} \right) + \frac{U_0}{R_1}$$

Aufgabe 3

Lastgerade: $I_Z = -U_Z \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_L} \right) + \frac{U_0}{R_1}$

$\frac{R_1 + R_L}{R_1 R_L}$

Einzeichnen in Diagramm:

1. Schnittpunkte mit x-Achse:

$$I_Z = 0 \quad U_{L, \min} = U_{Z, \min} = \frac{U_0}{R_1} \cdot \frac{R_1 R_L}{R_1 + R_L} = 5,9 \text{ V}$$

$$U_{L, \max} = 8 \text{ V}$$

2. Schnittpunkte mit y-Achse

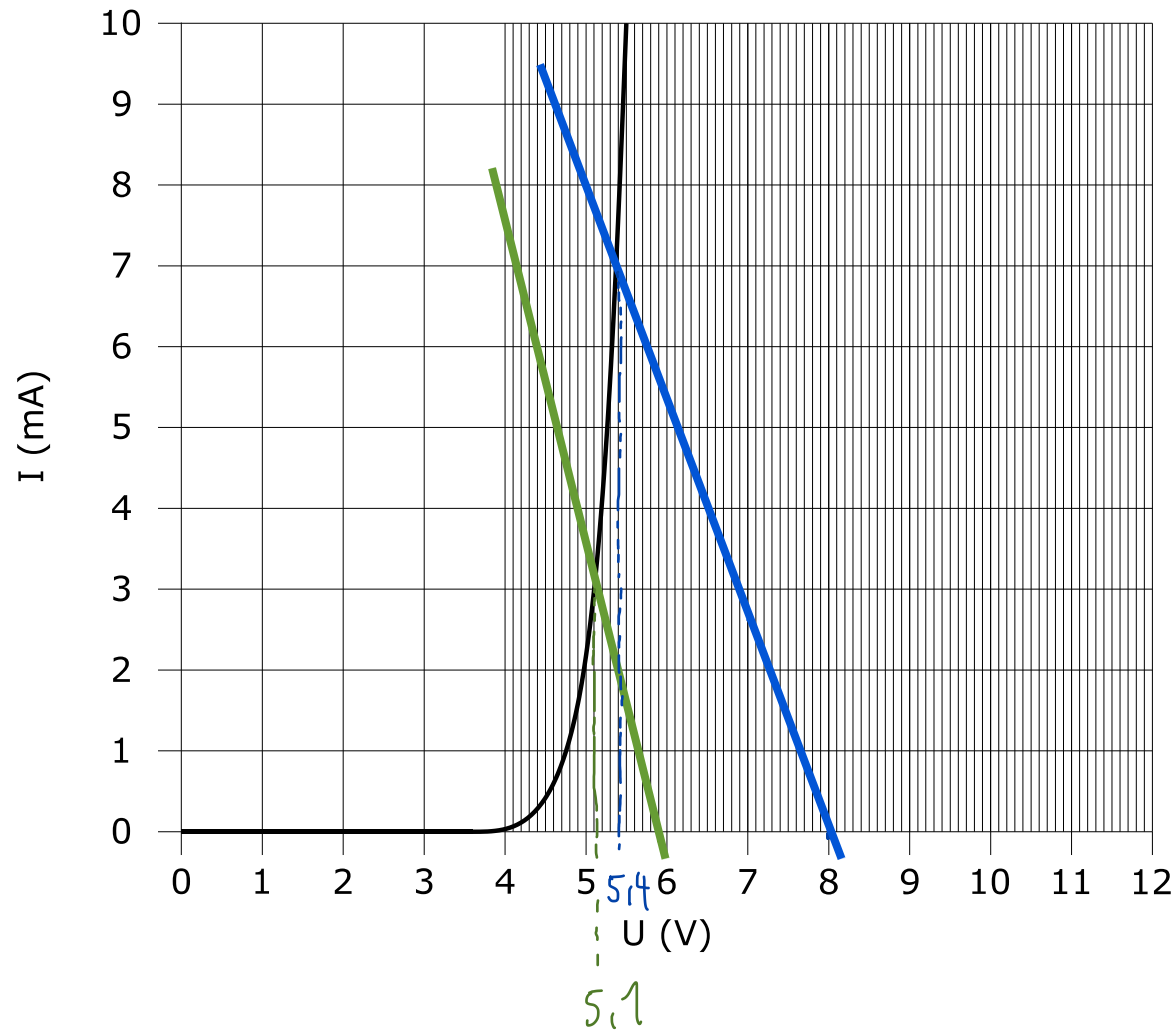
$$U_Z = 0 \rightarrow I_Z = \frac{U_0}{R_1} = \frac{12 \text{ V}}{560 \Omega} = 21 \text{ mA} \rightarrow \text{außerhalb des Diagramms}$$

→ Steigungen

$$m_{L, \min} = - \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{L, \min}} \right) = -3,6 \text{ mS}$$

$$m_{L, \max} = -2,7 \text{ mS}$$

Aufgabe 3



$$\begin{aligned} U_{L,min} &= 5,9 \text{ V} \\ U_{L,max} &= 8 \text{ V} \\ m_{L,min} &= -3,6 \text{ mS} \\ m_{L,max} &= -2,7 \text{ mS} \end{aligned}$$

$$\Delta U_L = 0,3 \text{ V} //$$

Aufgabe 3

Verlustleistung:

Widerstand R_1 : $P_{R1} = \frac{U_{R1}^2}{R_1} = \frac{(12V - 5,1V)^2}{560\Omega} = 85 \text{ mW}$

z-Diode : $P_z = I_z \cdot U_z = 3 \text{ mA} \cdot 5,1 \text{ V} = 15,3 \text{ mW}$