

**Grundlagen der Elektrotechnik**  
**Nachklausur 2012**  
**Duale Hochschule Baden Württemberg Karlsruhe**  
**Dozent: Gerald Oberschmidt**

Hilfsmittel/ Bemerkung:

- 2 Blatt DIN A4
- Taschenrechner (Casio wie vorgeschrieben)
- Stift, (leeres) Papier, Geodreieck/ Lineal, Zirkel
- Aufgaben mit (\*) sind anspruchsvoll und ggf. nicht für jederman.

Ihr Name:

Ihre Immatrikulationsnummer:

Nr.	Punkte	Ihr Ergebnis
1	11	
2	11	
3	16	
4	11	
5	14	
Ges.	63	

## 1 Temperaturabhängige Widerstände (11 Punkte)

Die Heizwendel eines elektrischen Heizlüfters habe einen elektrischen Widerstand mit Temperaturabhängigkeit von  $R_1 = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T_1)$  mit einer Bezugstemperatur von  $T_0 = 20^\circ\text{C}$  und  $\alpha_1 = 0,005 \times 1/\text{K}$ .

- (a) Wie groß ist  $R_0$ , wenn bei  $U_0 = 230\text{ V}$  bei einer Temperatur  $T_0$  ein Strom von  $12\text{ A}$  fließen soll? (1 Punkt)

**Lösung:** Es gilt natürlich

$$R_0 = \frac{U}{I} = 19,17\ \Omega$$

**Bewertung: 1 Punkt für Endergebnis**

- (b) Die Wendel erhitzt sich auf  $T_1 = 800^\circ\text{C}$ , wie groß sind dann der Widerstand und die umgesetzte Leistung? (2 Punkte)

**Lösung:** Die Temperatur hat sich also um  $\Delta T_1 = 780^\circ\text{C}$  geändert, damit ist

$$R_1 = R_0(1 + \alpha_1 \Delta T_1) = 93,92\ \Omega$$

Es werden dann

$$P = 563,3\text{ W}$$

umgesetzt. **Bewertung: Je 1 Punkt für die Zahlenergebnisse**

- (c) Der Heizlüfter soll optimiert werden. Wie groß darf  $\alpha$  maximal sein, wenn der Einschalt-(Kalt)Strom  $12\text{ A}$  nicht übersteigen darf, im Heizfall, bei  $T_1 = 800^\circ\text{C}$  aber  $P_H = 1\text{ kW}$

umgesetzt werden soll? (2 Punkte)

**Lösung:** Es gilt weiterhin  $R_0 = 19,17 \Omega$ , bei  $T_1$  muss aber nun

$$R_H = \frac{U^2}{P} = 52,9 \Omega$$

betragen. Mit

$$\begin{aligned} R_H &= R_0(1 + \alpha \Delta T_1) \\ \Leftrightarrow \alpha &= \left( \frac{R_H}{R_0} - 1 \right) \times \frac{1}{\Delta T_1} \\ &= 2,256 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K} \end{aligned}$$

**Bewertung: Je 1 Punkt für die Zahlenergebnisse**

- (d) Nennen Sie zwei Varianten (mit Begründung und in jeweils vollständigen Sätzen), wie Sie dieses (oder ein geringeres)  $\alpha$  realisieren könnten! (2 Punkte)

**Lösung:** Die erste Variante ist die Verwendung eines entsprechenden Materials, z.B. Messing ( $\alpha = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ ) oder Manganin ( $\alpha = 1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$ ).

Die zweite Variante ist die Kombination des o.g. Materials mit einem Widerstand mit deutlich geringerem oder sogar negativen  $\alpha$ . Hier wird aber in diesem Widerstand dann auch Leistung umgesetzt, die ggf. der Heizung nicht zur Verfügung steht.

**Bewertung: Je 1 Punkt**

- (e) Unter der Annahme, dass Manganin mit  $\alpha_M = 1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$  für die Heizung verwendet wird, berechnen Sie den Widerstand  $R_0$  unter der Voraussetzung, dass bei  $T_1 = 800^\circ\text{C}$  eine Leistung von  $P_H = 1 \text{ kW}$  umgesetzt wird! Welcher Strom fließt im kalten Zustand? (2 Punkte)

**Lösung:** Es gilt

$$\begin{aligned} R_H &= \frac{U^2}{P_H} = 52,9 \Omega \\ R_0 &= \frac{R_H}{1 + \alpha_M \Delta T_1} = 52,49 \Omega. \end{aligned}$$

im kalten Zustand fließt dann ein Strom von  $I = 4,382 \text{ A}$ .

**Bewertung: Je 1 Punkt für  $R_H$  und  $I$**

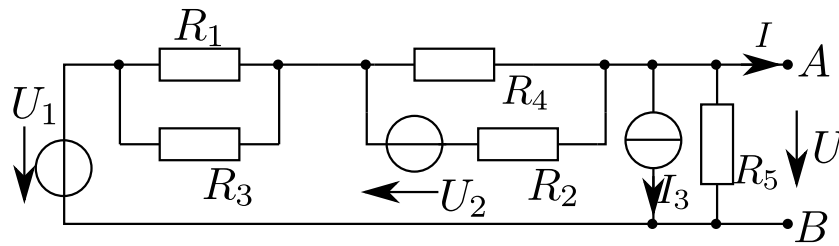
- (f) Die Heizwendel soll eine Länge von 100 m haben. Wie groß ist der Durchmesser des kreisrunden Drahtes wenn Manganin mit einer Leitfähigkeit (bei  $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ) von  $\kappa = 13,3 \cdot 10^6 \text{ S/m}$  verwendet wird? (2 Punkte)

**Lösung:** Für den Widerstand folgt

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{\rho l}{A} = \frac{4l}{\kappa \pi d^2} \\ \Leftrightarrow d &= \sqrt{\frac{4l}{\kappa \pi R_0}} = 0,4271 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Bewertung: 2 Punkte für das richtige Ergebnis**

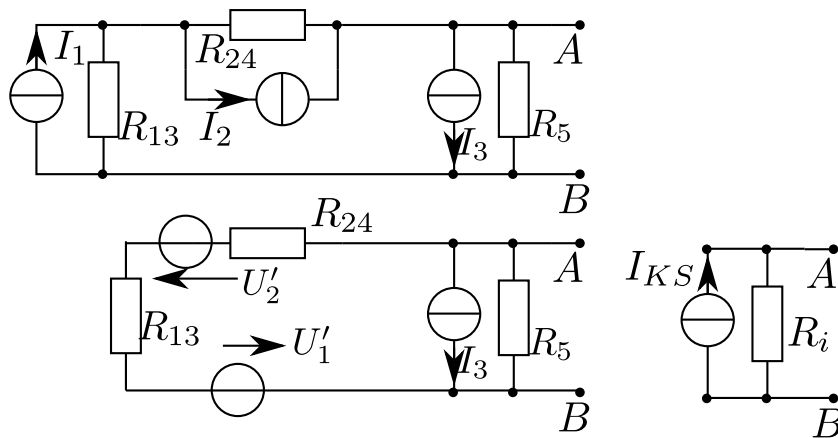
## 2 Ersatzspannungsquelle (11 Punkte)



Oben ist eine Schaltung gezeigt, deren Parameter als Ersatzstromquelle bestimmt werden sollen.

- (a) Geben Sie Kurzschlussstrom und Innenwiderstand der Ersatzstromquelle an. Vereinfachen Sie schrittweise, das Ergebnis ist in den o.g. Parametern anzugeben! (6 Punkte)

**Lösung:**



In obigen Schaltbildern gelten folgende Vereinfachungen:

$$R_{13} = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}$$

$$R_{24} = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}$$

$$I_1 = U_1 \frac{R_1 + R_3}{R_1 R_3}$$

$$I_2 = U_2 \frac{1}{R_2}$$

$$U'_1 = U_1$$

$$U'_2 = U_2 \frac{R_4}{R_2 + R_4}$$

Damit sind die Parameter der Ersatzquelle

$$\begin{aligned}
 I_{KS} &= -I_3 + \left( U_1 + U_2 \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right) / \left( \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \right) \\
 &= -I_3 + \frac{U_1 (R_1 + R_3)(R_2 + R_4) + U_2 R_4 (R_1 + R_3)}{R_1 R_3 (R_2 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_3)} \\
 R_i &= R_5 || (R_{24} + R_{13}) = \frac{R_5 \left( \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \right)}{R_5 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4}} \\
 &= \frac{R_5 (R_1 R_3 (R_2 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_3))}{R_5 (R_1 + R_3)(R_2 + R_4) + R_1 R_3 (R_2 + R_4) + R_2 R_4 (R_1 + R_3)}
 \end{aligned}$$

**Bewertung: 6 Punkte insgesamt, Teilpunkte werden gegeben, es gibt Punkte für den Weg**

- (b) Berechnen Sie für die Werte  $R_1 = R_3 = 2\Omega$ ,  $R_2 = R_4 = 4\Omega$ ,  $U_1 = U_2 = 10\text{ V}$ ,  $I_3 = 10\text{ A}$ ,  $R_5 = 1\Omega$  die drei Parameter einer Ersatzquelle! (3 Punkte)

**Lösung:**

$$\begin{aligned}
 I_{KS} &= -10\text{ A} + \frac{10\text{ V}}{3\Omega} + \frac{5\text{ V}}{3\Omega} = -5\text{ A} \\
 R_I &= 1\Omega || 3\Omega = \frac{3}{4}\Omega \\
 U_{LL} &= -\frac{15}{4}\text{ V} = 3,75\text{ V}
 \end{aligned}$$

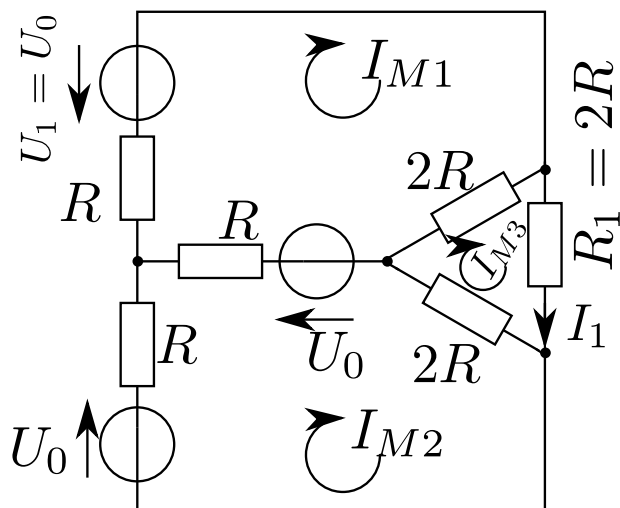
**Bewertung: Je Wert 1 Punkt**

- (c) Wie groß ist die Leerlaufspannung (mit den o.g. Zahlenwerten), wenn  $R_5$  unendlich groß wird? (2 Punkte)

**Lösung:** Am Kurzschlussstrom ändert sich nichts, aber der Innenwiderstand verändert sich zu  $R_I = 3\Omega$ . Damit ist dann die Leerlaufspannung dann  $U_{LL} = -15\text{ V}$ .

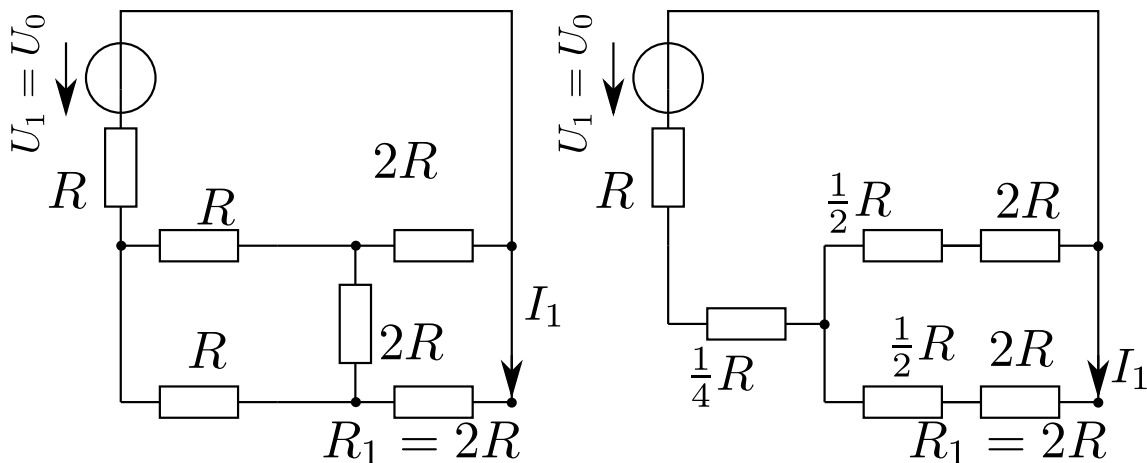
**Bewertung: 2 Punkte für Ergebnis und die Herleitung**

### 3 Kirchhoff'sche Regeln (16 Punkte)



- (a) Berechnen Sie den Strom  $I_1$  durch den Widerstand  $R_1$  (wie eingezeichnet), wenn nur die Spannungsquelle  $U_1$  aktiv ist und die beiden anderen ausgeschaltet sind! (4 Punkte)

**Lösung:** Wenn zwei Quellen abgeschaltet werden, dann ergibt sich das folgende Schaltbild:



#### Variante 1 (Erkennen!)

Der  $2R$ -Widerstand im Dreieck unten links liegt auf beiden Seiten auf gleichem Potenzial und ist damit strom und spannungslos. Somit kann er weggelassen werden. Damit ist der Gesamtwiderstand der Konfiguration aus Sicht der Quelle  $U_1$

$$R_{ges} = R + (2R + R) \parallel (2R + R) = \frac{5}{2}R$$

Der Gesamtstrom ist also

$$I_{ges} = \frac{2}{5} \times \frac{R_0}{R}$$

und die symmetrische Anordnung teilt den Strom gleichmäßig in beide Arme auf, womit

$$I_1 = \frac{1}{5} \times \frac{R_0}{R}$$

folgt.

### Variante 2 (Stern-Dreieck)

Bei diesem wurde schon die Dreiecks-Sternumwandlung des Dreiecks aus  $R, R, 2R$  mit

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{12}R_{31}}{R_{12} + R_{31} + R_{32}} = \frac{1}{2}R \\ R_2 &= \frac{R_{12}R_{23}}{R_{12} + R_{31} + R_{32}} = \frac{1}{2}R \\ R_3 &= \frac{R_{23}R_{31}}{R_{12} + R_{31} + R_{32}} = \frac{1}{4}R \end{aligned}$$

vorgenommen.

Damit ist der Strom  $I_1$  leicht zu berechnen. Der gesamte Widerstand, den die Quelle sieht ist

$$R_{ges} = \frac{1}{2} \times \frac{5}{2}R + \frac{1}{4}R + R = \frac{5}{2}R$$

und es fließt demnach der gesamte Strom

$$I_{ges} = \frac{U_{ges}}{R_{ges}} = \frac{2U_0}{5R},$$

der sich auf beide parallelen Zweige mit

$$I_1 = \frac{1}{5} \frac{U_0}{R}$$

gleichmäßig aufteilt.

### Variante 3 (Standardverfahren)

Wie weiter unten noch gezeigt, kann die Aufgabe auch bspw. mittels Maschenstromverfahren gelöst werden.

- (b) Bestimmen Sie den Strom  $I_1$  wenn nun alle Spannungsquellen aktiv sind. Verwenden Sie den Überlagerungssatz (ggf. Stern-Dreiecksumformung) und oder präzise erläuterte Symmetrieargumente! (2 Punkte)

**Lösung:** Die untere Quelle (Überlagerungssatz) erzeugt betragsmäßig den gleichen Strom, allerdings entgegengesetzt, so dass sich der Einfluss der oberen und der unteren Quelle gegenseitig aufheben.

Die rechte Quelle wird nach oben und unten vollkommen symmetrisch belastet. Der Strom teilt sich im Dreieck also nach oben und unten gleich auf. Damit sieht  $R_1$  am unteren und oberen Anschluss das gleiche Potenzial, es fließt hierdurch kein Strom.

In der Summe fließt also kein Strom durch  $R_1$ .

**Bewertung. 2 Punkte für Ergebnis und saubere Argumentation.**

- (c) Stellen Sie die Matrix für die Maschenstromanalyse auf, wandeln Sie dazu ggf. Quellen in die besser geeignete Form vorher um. Achten Sie darauf, dass  $I_{M3}$  nach Lösung des Gleichungssystems direkt zur Verfügung steht! (4 Punkte)

**Lösung:**

Es ergibt sich das Gleichungssystem

$$\begin{pmatrix} 4R & -R & -2R \\ -R & 4R & -2R \\ -2R & -2R & 6R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

(4 Punkte für Matrix etc.)

- (d) Berechnen Sie die Maschenströme, wenn wiederum nur  $U_1$  aktiv ist und die beiden anderen Quellen ausgeschaltet sind! (3 Punkte)

**Lösung:** Das Gleichungssystem kann gelöst werden in folgenden Schritten:

$$\begin{pmatrix} 4R & -R & -2R \\ -R & 4R & -2R \\ -2R & -2R & 6R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 4R & -R & -2R \\ 0 & \frac{15}{4}R & -\frac{5}{2}R \\ 0 & -\frac{5}{2}R & 5R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_0 \\ \frac{1}{4}U_0 \\ \frac{1}{2}U_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 4R & -R & -2R \\ 0 & 3R & -2R \\ 0 & -5R & 10R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_0 \\ \frac{1}{5}U_0 \\ U_0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 4R & -R & -2R \\ 0 & 3R & -2R \\ 0 & 0 & \frac{20}{3}R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_{M1} \\ I_{M2} \\ I_{M3} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_0 \\ \frac{1}{5}U_0 \\ \frac{4}{3}U_0 \end{pmatrix}$$

Damit ist dann sofort und mit Rückwärts einsetzen:

$$\begin{aligned} I_{M1} &= \frac{2}{5} \times \frac{U_0}{R} \\ I_{M2} &= \frac{1}{5} \times \frac{U_0}{R} \\ I_{M3} &= \frac{1}{5} \times \frac{U_0}{R} \end{aligned}$$

**Bewertung:** für jeden Maschenstrom 1 Punkt, also 3 Punkte

- (e) Bestimmen Sie die Ströme durch alle Widerstände unter vorgenannter Bedingung! (3 Punkte)

**Lösung:** Erstmal die  $2R$ -Widerstände, da sind das

$$I_1 = I_{M3} = \frac{1}{5} \times \frac{U_0}{R}$$

$$I_2 = I_{M1} - I_{M3} = \frac{1}{5} \times \frac{U_0}{R}$$

$$I_3 = I_{M2} - I_{M3} = 0$$

Und dann noch die Sternwiderstände (oben, rechts, unten)

$$I_o = I_{M1} = \frac{2}{5} \times \frac{U_0}{R}$$

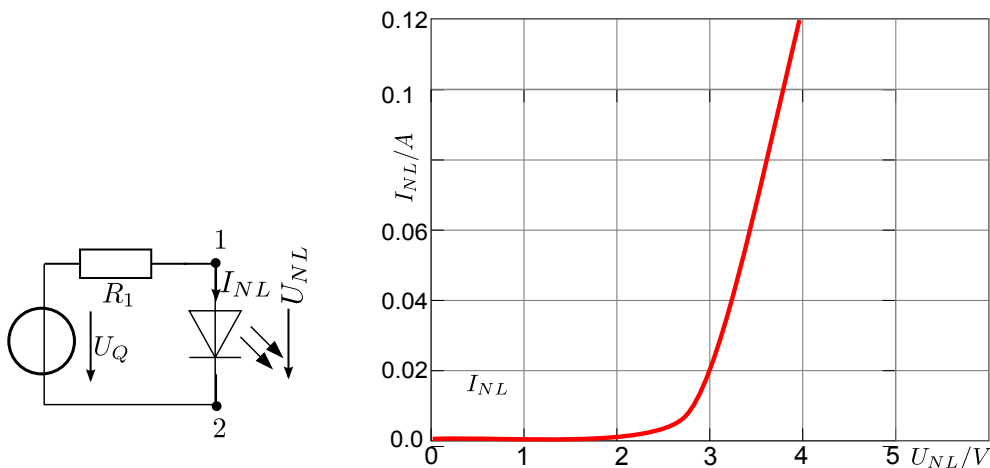
$$I_r = I_{M1} - I_{M2} = \frac{1}{5} \times \frac{U_0}{R}$$

$$I_u = I_{M2} = \frac{1}{5} \times \frac{U_0}{R}$$

.

**Bewertung.** Für jeden richtigen Wert 0,5 Punkte, also zusammen 3 Punkte

#### 4 Graphische Lösungen/ Nichtlineare Elemente (11 Punkte)

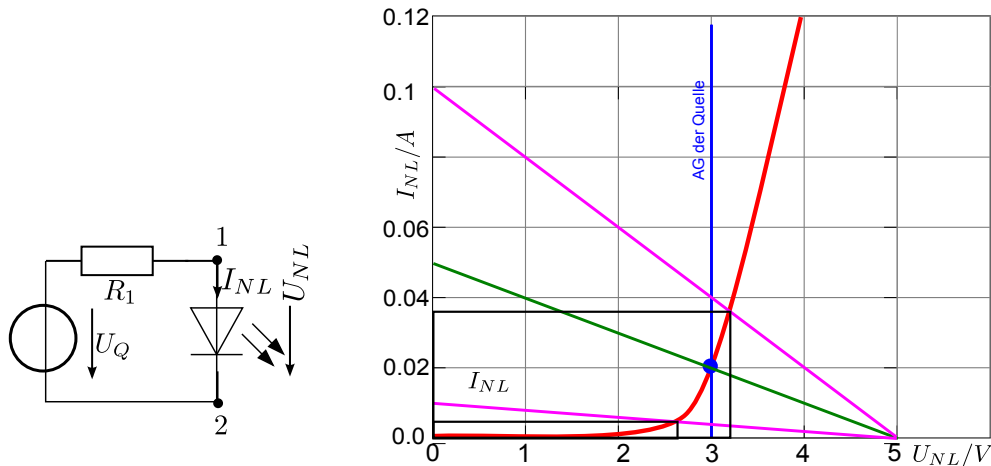


In obiger Schaltung ist generisch die Beschaltung einer Leuchtdiode (LED) bezeichnet, die hier als nichtlinearer Widerstand angesehen werden kann. Der Wirkungsgrad der reinen LED ( $P_{\text{Licht}}/P_{\text{elektrisch}} = \eta_o$ ) ist 30 %.

- (a) Geben Sie den Arbeitspunkt an, der eingestellt werden muss, wenn die Diode 60 mW elektrische Leistung aufnehmen soll! Wie muss der Vorwiderstand  $R_1$  gewählt werden, damit der Wirkungsgrad (also  $P_{\text{optisch}}/P_{\text{Quelle}}$ ) maximal wird? Zeichnen Sie die Arbeitsgerade der Quelle mit  $R_1$  für diesen Fall! (4 Punkte)

**Lösung:**





Der Arbeitspunkt ist bei (3 V, 20 mA), das Produkt ergibt dann  $P_{el} = 60 \text{ mW}$ .

Natürlich muss der Widerstand verschwinden.

Und dann ist die AG der Quelle eine Senkrechte bei 3 V.

**Bewertung: 2 Punkte für die AP, ansonsten jeweils 1 Punkt.**

- (b) Es steht nur eine Quelle mit Leerlaufspannung  $U_Q = 5 \text{ V}$  zur Verfügung. Bestimmen Sie den Innenwiderstand  $R_1$  nun so, dass der unter (a) gewünschte Arbeitspunkt erreicht wird. Zeichnen Sie die AG der gesamten Quelle! (Wenn Sie (a) nicht lösen konnten, wählen Sie einfach einen AP und dokumentieren Sie dieses, ansonsten keine Folgefehler!) (2 Punkte)

**Lösung:** AG siehe Blatt, der Kurzschlussstrom der Quelle ist  $I_{KS} = 50 \text{ mA}$  und damit ist der Innenwiderstand

$$R_1 = \frac{U_Q}{I_{KS}} = \frac{5}{0,05} \Omega = 100 \Omega.$$

**Bewertung: Insgesamt 2 Punkte**

- (c) Wie groß sind die Verluste im Widerstand? Wie groß sind dementsprechend elektrischer Wirkungsgrad und optischer Wirkungsgrad (also  $P_{optisch}/P_{Quelle}$ )? (3 Punkte)

**Lösung:** Im Widerstand werden

$$P_1 = I^2 R_1 = (20 \text{ mA})^2 \times 100 \Omega = 40 \text{ mW}$$

verbraten. Bei  $P_{LED} = 60 \text{ mW}$  ergibt sich also

$$\eta_{el} = \frac{60}{40 + 60} = 60 \%$$

und insgesamt dann noch mit dem optischen Wirkungsgrad haben wir

$$\eta_{opt} = 60 \% \times 30 \% = 18 \%.$$

**Bewertung: Jeweils 1 Punkt pro Zahl**

- (d) Der Innenwiderstand der  $U_Q = 5\text{ V}$ -Quelle kann von  $R_1 = 50\ \Omega$  bis  $R_1 = 500\ \Omega$  variiert werden, um die Helligkeit der LED einzustellen. Zeichnen Sie die zugehörigen Arbeitsgeraden und bestimmen Sie das Verhältnis der (elektrischen) Leistungen im Hell- und Dunkelfall. Geben Sie dazu auch an, welches der jeweilige Fall ist! (4 Punkte)

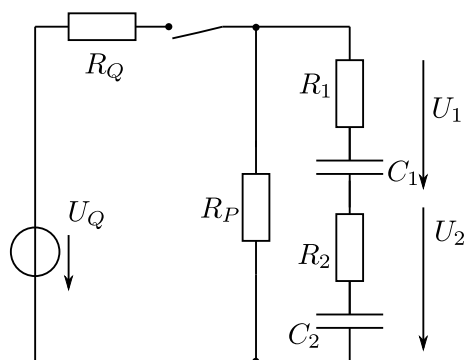
**Lösung:** Im Hell-Fall ( $R_1 = 50\ \Omega$ ) ist der AP (3,3 V, 37 mA) und damit hat man hier eine Leistung von  $P_{Hell} = 122\text{ mW}$ .

Im Dunkel-Fall ( $R_1 = 500\ \Omega$ ) ist der AP (2,6 V, 5 mA) und damit hat man hier eine Leistung von  $P_{Hell} = 13\text{ mW}$ .

Das Hell-Dunkel-Verhältnis ist also in etwa 10:1.

**Bewertung:** Insgesamt gab es 4 Punkte, wobei das Ergebnis und die richtige Bezeichnung der Fälle notwendig waren, es aber Zwischenpunkte gibt.

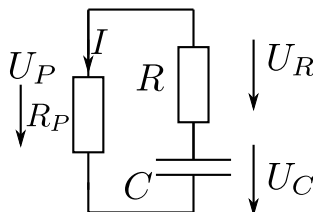
## 5 Ladevorgänge, 14 Punkte



Zwei Kondensatoren (Kapazitäten mit Innenwiderständen  $C_1, R_1$  und  $C_2, R_2$ ) werden bei geschlossenen Schalter geladen. Zunächst seien die Kapazitäten ungeladen.

- (a) Ersetzen Sie die zwei Kondensatoren aus Kapazitäten mit Innenwiderständen  $C_1, R_1$  und  $C_2, R_2$  durch einen zusammengefassten mit  $R$  und  $C$ , geben Sie die Ersatzschaltung und natürlich  $R$  und  $C$  an! (3 Punkte)

**Lösung:** Das ist die Reihenschaltung



mit

$$R = R_1 + R_2$$

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

**Bewertung: 1 Punkt für jeden Wert und eines für das ESB**

- (b) Auf welche Spannung ist
- $C$
- nachdem der Schalter lange geschlossen war aufgeladen? (1 Punkt)

**Lösung:**

Das ist sicherlich

$$U_C = U_Q \frac{R_P}{R_Q + R_P}$$

**Bewertung: 1 Punkt**

- (c) Der Schalter wird nun geöffnet. Geben Sie Strom und Spannung über bzw. durch
- $R_P$
- an! Zeichnen Sie in ein Schaltbild die beteiligten Elemente und Spannungen und Ströme so ein, dass die Pfeilrichtung zu positiven Werten führt. Sie können die oben eingeführten Abkürzungen
- $R$
- und
- $C$
- verwenden. (3 Punkte)

**Lösung:** Das ist einfach die Entladung der Kapazität  $C$  über  $R$  und  $R_P$  mit

$$U_C(t) = U_Q \frac{R_P}{R_Q + R_P} e^{-t/(C(R+R_P))}$$

Und damit sind Strom und Spannung an bzw. durch  $R_P$ 

$$U_P = U_Q \frac{R_P}{R_Q + R_P} \times \frac{R_P}{R + R_P} e^{-t/(C(R+R_P))}$$

$$I_P = U_Q \frac{R_P}{R_Q + R_P} \times \frac{1}{R + R_P} e^{-t/(C(R+R_P))}$$

**Bewertung: 1 Punkt für jeden Wert und einen für die richtigen Pfeile im ESB.**

- (d) Mit
- $R_1 = R_2 = 0,5 \Omega$
- ,
- $R_P = R_Q = 4 \Omega$
- ,
- $C_1 = C_2 = 2 \mu\text{F}$
- ,
- $U_Q = 20 \text{V}$
- zeichnen Sie den Spannungsverlauf über
- $R_P$
- von
- $1 \mu\text{s}$
- vor bis
- $10 \mu\text{s}$
- nach öffnen des Schalters! (Keine Folgefehler! Wenn Sie obigem Ergebnis misstrauen, Rechnen Sie mit Zahlen nochmals) (3 Punkte)

**Lösung:** Es ergeben sich:

$$R = 1 \Omega,$$

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

$$U_P(t-) = 10 \text{V}$$

$$U_P(t+) = U_P(t-) \frac{R_P}{P + R_R} = 8 \text{V}$$

$$\tau = C(R + R_P) = 5 \mu\text{s}$$



**Bewertung: 3 Punkte für den richtigen Graphen und auch richtige Werte und Skalierungen.**

- (e) Geben Sie allgemein und formelmäßig die Spannungen  $U_1$  und  $U_2$  unmittelbar nach Schließen des Schalters und nachdem der Schalter für sehr sehr lange Zeit geschlossen war an! (4 Punkte)

**Lösung:** Unmittelbar nach Schließen des Schalters sind  $C_1$  und  $C_2$  Kurzschlüsse und nur die Widerstände bestimmen das Geschehen. Es liegt dann der Spannungsteiler mit

$$\begin{aligned} U_1 + U_2 &= U_Q \left( \frac{\frac{R_P(R_1+R_2)}{R_1+R_2+R_P}}{R_Q + \frac{R_P(R_1+R_2)}{R_1+R_2+R_P}} \right) \\ &= U_Q \frac{R_P(R_1 + R_2)}{R_Q(R_1 + R_2 + R_P) + R_P(R_1 + R_2)} \end{aligned}$$

vor und damit ist dann

$$\begin{aligned} U_1 &= U_Q \frac{R_P R_1}{R_Q(R_1 + R_2 + R_P) + R_P(R_1 + R_2)} \\ U_2 &= U_Q \frac{R_P R_2}{R_Q(R_1 + R_2 + R_P) + R_P(R_1 + R_2)} \end{aligned}$$

.

Nach langer Zeit nehmen die Kapazitäten keine Ladung mehr auf, durch sie fließt kein Strom mehr. Es greift erstmal der Spannungsteiler aus  $R_Q$  und  $R_P$

$$U_1 + U_2 = U_Q \frac{R_P}{R_Q + R_P}$$

verkettet mit der Spannungsteilung durch  $C_1$  und  $C_2$  wodurch sich dann

$$\begin{aligned} U_1 &= U_Q \frac{C_2}{C_1 + C_2} \frac{R_P}{R_Q + R_P} \\ U_2 &= U_Q \frac{C_1}{C_1 + C_2} \frac{R_P}{R_Q + R_P} \end{aligned}$$

ergibt.

**je 1Punkte pro Ergebnis**