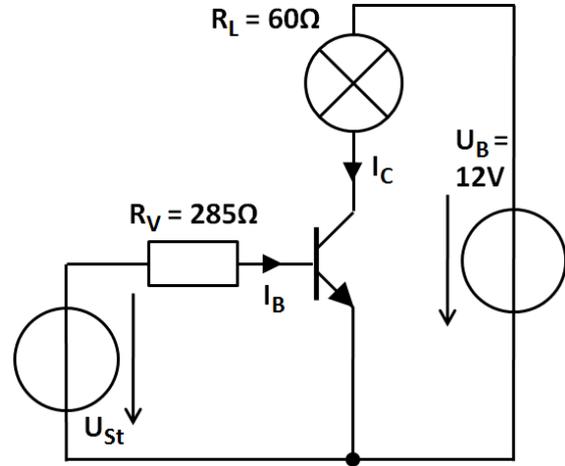


<b>Hochschule München</b> <b>FK 03 Fahrzeugtechnik</b>	<b>Diplomvorprüfung WS 2010/11</b> <b>Fach: Elektronik, Dauer: 90 Minuten</b>		G. Buch, P. Klein T. Küpper, W. Stadler	
<b>Zugelassene Hilfsmittel:</b> Taschenrechner, zwei Blatt DIN A4 eigene Aufzeichnungen	<b>Matr.-Nr.:</b>	<b>Name, Vorname:</b>		
	<b>Hörsaal:</b>	<b>Unterschrift:</b>		

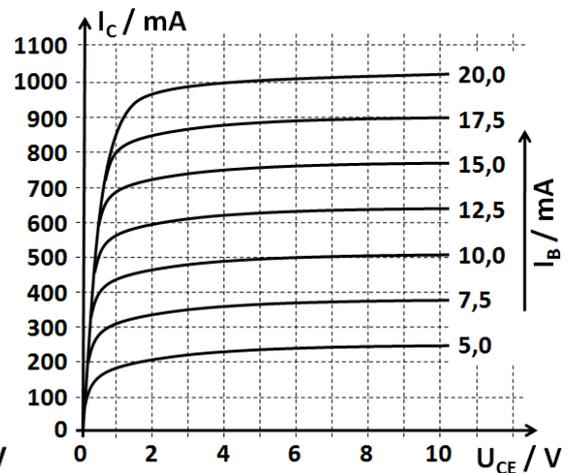
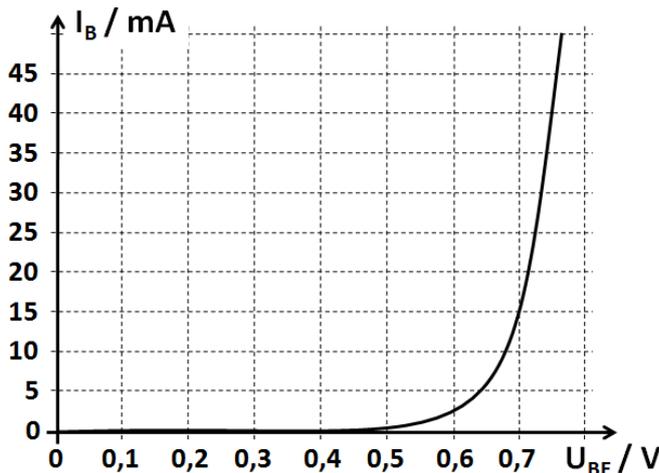
<b>A</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Σ</b>	<b>N</b>
<b>P</b>						

**Aufgabe 1 (ca. 15 Punkte)**

Eine Glühlampe (ohmscher Widerstand  $R_L = 60\Omega$ ) wird über einen Transistor angesteuert. Die Betriebsspannung beträgt  $U_B = 12V$ . Die Spannung  $U_{St}$  wird von einem Steuergerät geliefert, der Wert des Basisvorwiderstands beträgt  $R_V = 285\Omega$ .

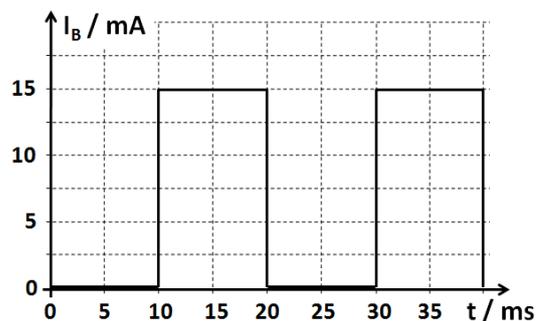


1.1. Zeichnen Sie die Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld des Transistors.



1.2. Die Glühlampe soll mit reduzierter Helligkeit leuchten, sie wird zu diesem Zweck vom Steuergerät 50 mal pro Sekunde ein- und ausgeschaltet. Die nebenstehende Abbildung zeigt den Verlauf des Basisstroms  $I_B$ .

Zeichnen Sie die Arbeitspunkte **des eingeschalteten Transistors** (also bei  $I_B = 15\text{ mA}$ ) in die Ein- und Ausgangskennlinien.



1.3. Wie groß ist die Basis-Emitter-Spannung des Transistors bei eingeschaltetem Basisstrom  $I_B$ ?

1.4. Mit welchem Übersteuerungsfaktor wird der Transistor eingeschaltet?

1.5. Wie groß ist die Spannung  $U_{St}$  bei eingeschaltetem Transistor?

1.6. Welche Verlustleistung  $P_{Verl}$  geht am eingeschalteten Transistor als Wärme verloren?

1.7. Die Helligkeit der Glühlampe kann natürlich auch **ohne Verwendung eines Transistors** reduziert werden: Die Lampe wird dazu in Reihe mit einem Widerstand von  $25\Omega$  an die Betriebsspannung  $U_B = 12V$  angeschlossen. Wie groß ist hier die Verlustleistung, die am  $25\Omega$ -Widerstand als Wärme verloren geht?

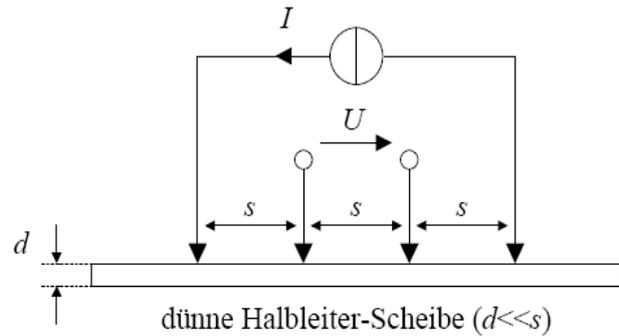
1.8. Nun wird **eine andere Lampe mit einem ohmschen Widerstand  $R_L' = 12\Omega$**  in die oben gezeigte Transistorschaltung eingebaut. Welcher Strom  $I_C'$  fließt durch die neue Lampe, wenn diese vom Steuergerät eingeschaltet wird? (Es gilt weiterhin  $I_B = 15mA$ .)

1.9. Welche Verlustleistung  $P_{Verl}'$  geht im Unterpunkt 1.8 am Transistor als Wärme verloren?

1.10. Muss  $R_V$  vergrößert oder verkleinert werden, damit der Transistor auch in Unterpunkt 1.8 in Sättigung betrieben und die Glühlampe sicher eingeschaltet wird? Wird die Verlustleistung am Transistor dadurch vergrößert oder verkleinert? (**Kurze Begründungen erforderlich!**)

**Aufgabe 2 (ca. 15 Punkte)**

Mit der skizzierten Vierspitzenmethode kann man die spezifische Leitfähigkeit von Halbleiterscheiben sehr einfach bestimmen. Dazu wird über die äußeren beiden aufgesetzten Kontaktnadeln der Strom  $I$  eingepreßt. Der daraus resultierende Spannungsabfall  $U$  zwischen den inneren Spitzen wird gemessen.



Für den Fall, dass die Dicke  $d$  der Halbleiterscheibe sehr viel kleiner ist, als der Abstand  $s$  der Messspitzen ergibt sich die spezifische Leitfähigkeit nach der Formel

$$\kappa = \frac{I}{\pi \cdot d \cdot U} \cdot \ln 2$$

Die spezifische Leitfähigkeit eines dünnen Si-Halbleiterplättchen, welches mit einem Akzeptor dotiert ist, wird so bei Raumtemperatur ermittelt. Gegeben sind folgende Daten:

Dicke  $d = 400 \mu\text{m}$ , Strom  $I = 5 \text{mA}$ , gemessene Spannung  $U = 100 \text{mV}$  und die Halbleitereigenschaften  $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{cm}^{-3}$ ,  $\mu_n = 1350 \text{cm}^2/\text{Vs}$ ,  $\mu_p = 480 \text{cm}^2/\text{Vs}$ , Elementarladung  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

- 2.1. Berechnen Sie die spezifischen Leitfähigkeit  $\kappa$  der Si-Scheibe sowie die Akzeptordichte  $N_A$ . (Hinweis: Der Einfluss der Minoritätsträger darf bei der Berechnung vernachlässigt werden.)  
Ersatzwert:  $N_A = 4 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$

- 2.2. Obiges Si-Plättchen wird nun zusätzlich mit einem Donator  $N_D = 10^{16} \text{cm}^{-3}$  dotiert. Welche Spannung  $U$  würde man nun bei sonst unverändertem Versuchsaufbau messen?

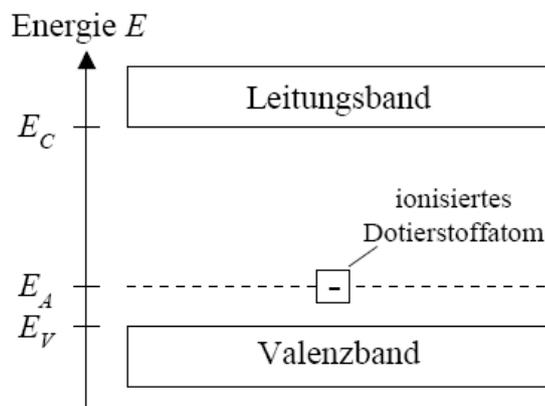
- 2.3. Wie verändert sich grundsätzlich die Spannung  $U$ , wenn der Halbleiter während der Messung stark erwärmt wird **und warum**?

2.4. Vervollständigen Sie in der nachstehenden Tabelle die Funktionsweise und eine mögliche Anwendung aufgelisteter Bauelemente (vgl. Beispiel Feldplatte).

<i>Bauelement</i>	<i>Effekt/Funktion</i>	<i>Anwendung</i>
Feldplatte	Bewegte Ladungsträger werden im magn. Feld abgelenkt und müssen dadurch längere Strecke zurücklegen → Widerstand steigt	Magnetfeld-Sensor
Hallelement		
Fotowiderstand (LDR)		
Heißleiter		

2.5. Skizziert ist das Bänderdiagramm eines p-Typ Halbleiters.

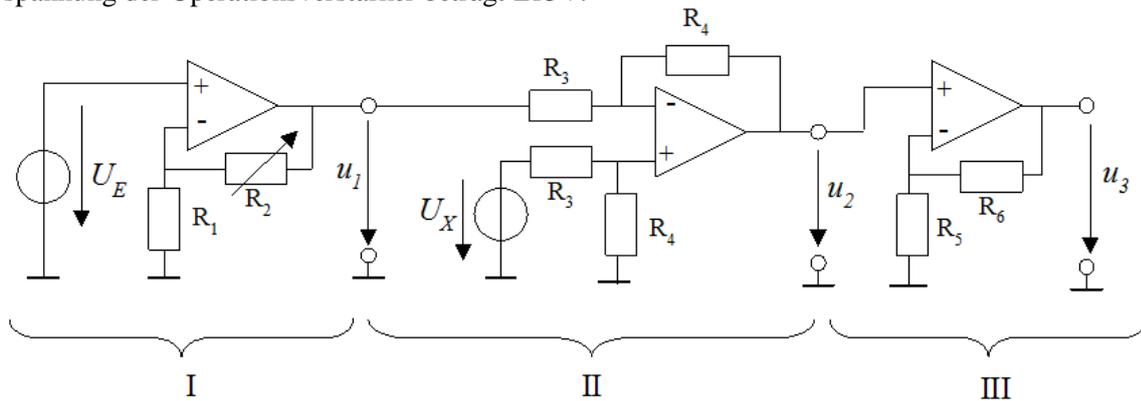
- Markieren Sie im Diagramm den Bandabstand  $E_g$  des Halbleiters.
- Markieren Sie im Diagramm die Energie  $\Delta E$ , die notwendig ist, um die Akzeptor-Störstellen zu ionisieren (also an den Dotierstoffatomen „zusätzliche“ Löcher zu generieren).
- Der Halbleiter wird zusätzlich mit einem Donator dotiert. Zeichnen Sie in das Bänderdiagramm das Energieniveau  $E_D$  der Donator-Störstellen ein.



2.6. Welche elektrischen Eigenschaften hat ein Material, dessen Bandabstand so gering ist, dass sich Leitungsband und Valenzband berühren oder sogar teilweise überschneiden?

**Aufgabe 3 (ca. 15 Punkte)**

Gegeben ist die nachstehende Schaltung mit idealen Operationsverstärkern. Die maximale Ausgangsspannung der Operationsverstärker beträgt  $\pm 15\text{V}$ .



- 3.1. Um welche Grundschaltungen handelt es sich bei den Stufen I, II und III? Geben Sie entweder eine möglichst genaue Beschreibung oder einen mathematischen Zusammenhang zwischen den Ein- und Ausgangsspannungen in Abhängigkeit von den angegebenen Widerständen an.

Stufe I:

Stufe II:

Stufe III:

- 3.2. **Verstärkerstufe I (mit  $U_E = 5\text{V}$  – konstant! – und  $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ ):**

Der Widerstand  $R_2$  ist temperaturabhängig. Es soll anhand der gegebenen zeitlichen Verläufe von Temperatur  $T$  am Widerstand  $R_2$  und Spannung  $u_1$  schrittweise eine Gleichung für  $R_2(T)$  hergeleitet werden, indem die folgenden Unterpunkte gelöst werden:

- a) Erstellen Sie anhand der zeitlichen Verläufe von Temperatur  $T$  und Spannung  $u_1$  (siehe Diagramm auf der nächsten Seite) eine Formel zur Berechnung von  $u_1$  in Abhängigkeit von der Temperatur  $T$ . (Hinweis: linearer Zusammenhang zwischen Temperatur und Spannung!)

- b) Stellen Sie eine Gleichung zur Berechnung der Spannung  $u_1$  in Abhängigkeit von  $R_2$  auf.

- c) Setzen Sie die Ergebnisse für die Berechnung von  $u_1$  aus Aufgabenteil a) und b) gleich und stellen Sie eine Gleichung auf, mit der Sie  $R_2$  in Abhängigkeit von T berechnen können.

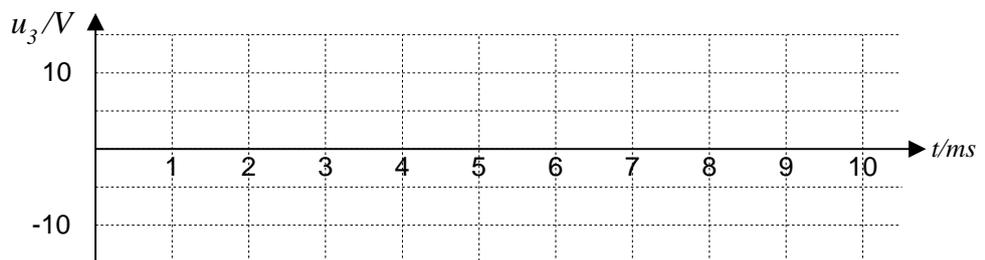
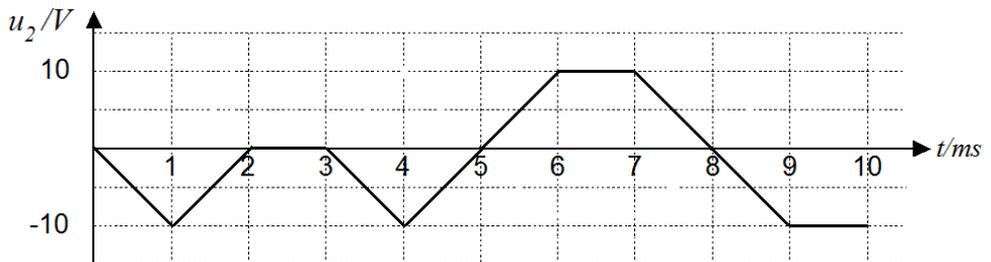
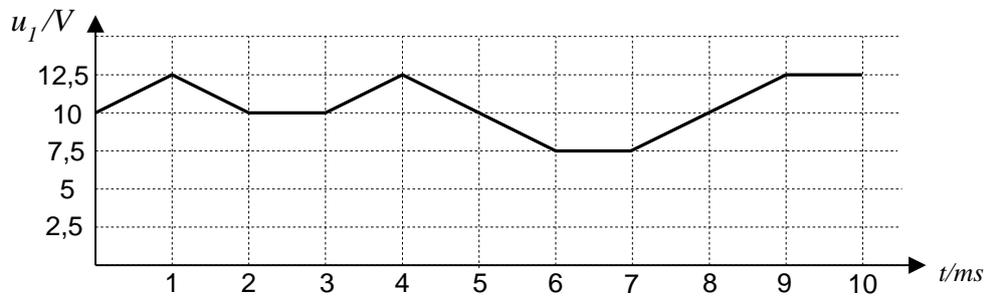
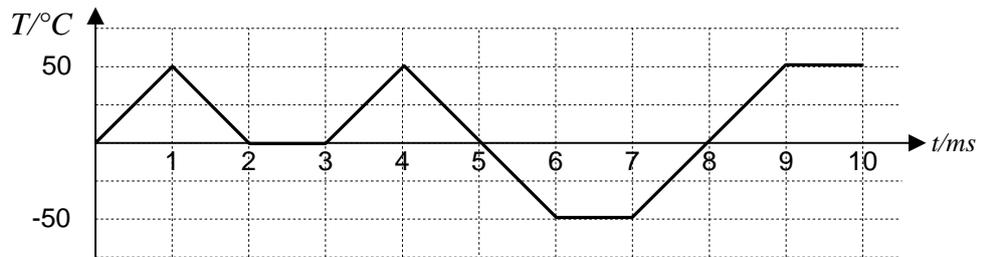
**3.3. Verstärkerstufe II (mit  $R_3 = 10\text{ k}\Omega$ ):**

Welche Werte müssen die Widerstände  $R_3$  und die (konstante!) Spannungsquelle  $U_x$  haben, damit sich bei vorgegebenem Verlauf von  $u_1$  die angegebene Ausgangsspannung  $u_2$  einstellt?

Unterpunkt 3.3 komplett gestrichen!!!

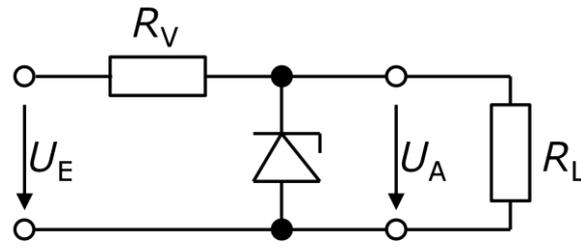
**3.4. Verstärkerstufe III (mit  $R_5 = 5\text{ k}\Omega$  und  $R_6 = 10\text{ k}\Omega$ ):**

Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf von  $u_3$  in das Diagramm ein.

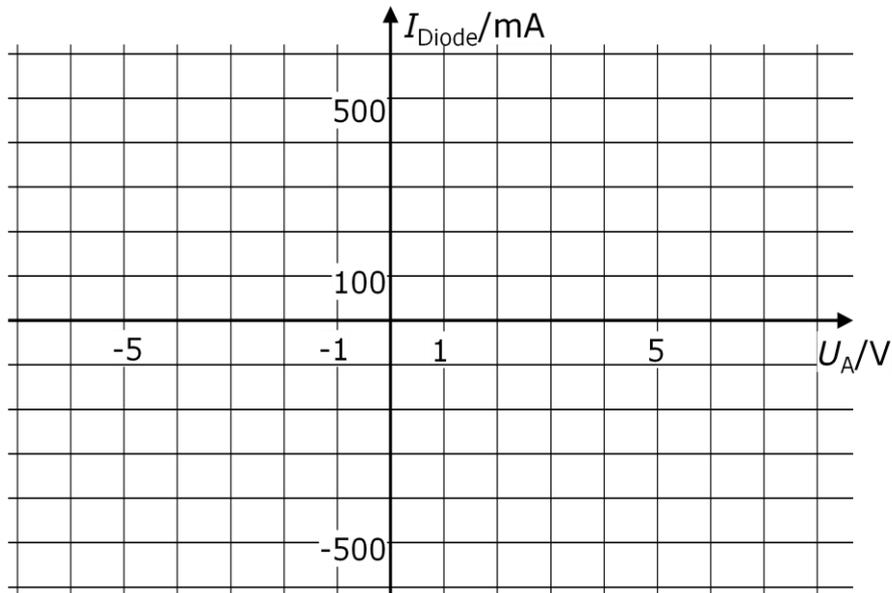


**Aufgabe 4 (ca. 15 Punkte)**

In der nebenstehenden Schaltung soll eine empfindliche Verstärkerschaltung (dargestellt durch den Widerstand  $R_L$ ) durch eine Zenerdiode vor Überspannung geschützt werden. Die Parameter des linearisierten Ersatzschaltbildes der Zenerdiode sind  $U_{Z0} = 5,5 \text{ V}$ ,  $r_z = 2 \text{ }\Omega$ ,  $U_f = 1,0 \text{ V}$  und  $r_f = 1 \text{ }\Omega$ .



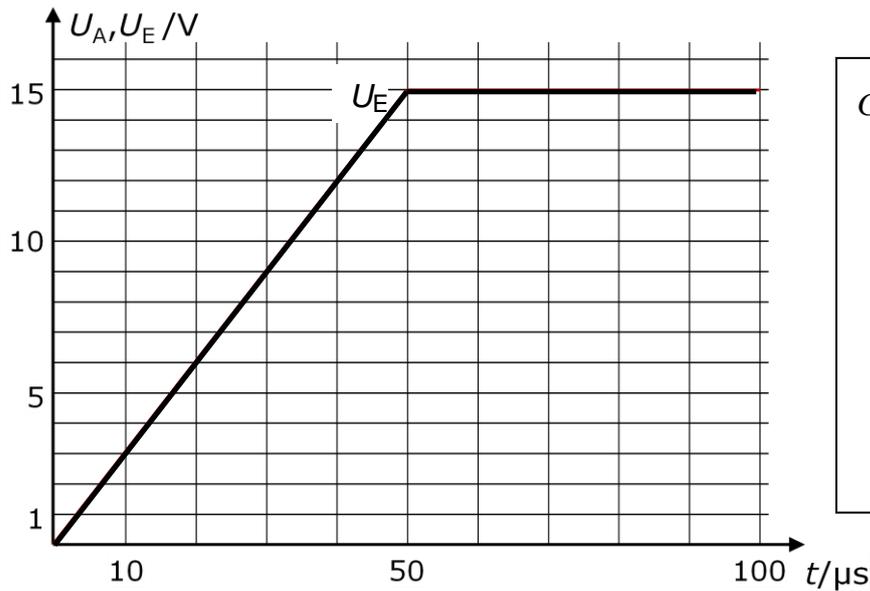
4.1. Zeichnen Sie die linearisierte ideale Kennlinie  $I_{\text{Diode}} = f(U_A)$  in das Diagramm.



4.2. Die Eingangsspannung  $U_e$  kann maximal 15 V betragen. Dimensionieren Sie den Vorwiderstand  $R_V$  so, dass die Spannung über der Verstärkerschaltung ( $U_A$ ) 7,5 V nicht überschreitet, **wenn kein Strom durch den Verstärker fließt** (Ersatzwert  $R_V = 8 \text{ }\Omega$ ).

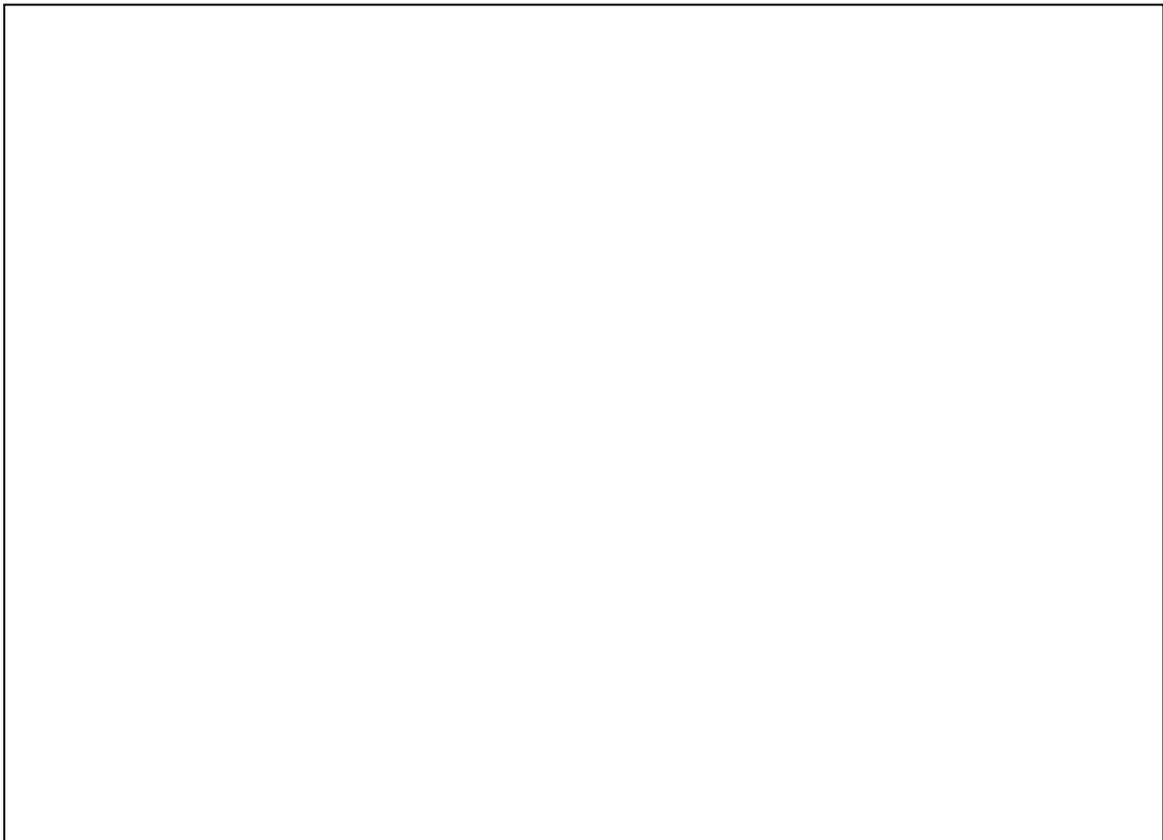
4.3. Welche Leistung geht am Vorwiderstand aus Unterpunkt 4.2 im „normalen“ Betriebsfall ( $U_e = 5,0 \text{ V}$  und  $R_L = 10 \text{ }\Omega$ ) in Form von Wärme verloren?

- 4.4. Zeichnen Sie für  $R_L \rightarrow \infty$  die am Verstärker anliegende Spannung  $U_A$  für die zeitlich veränderliche Eingangsspannung  $U_E$  in das Zeit-Spannungs-Diagramm. Wie groß ist in diesem Fall der Glättungsfaktor?



$G =$

- 4.5. Die Verstärkerschaltung reagiert sehr empfindlich auf negative Eingangsspannungen, Spannungen mit  $U_A < -1,0 \text{ V}$  sind kritisch. Am Netzteil können kurzzeitig Spannungen von  $U_E = -3 \text{ V}$  auftreten. Wie groß ist die an der Verstärkerschaltung anliegende Spannung  $U_A$  in diesem Fall? (Hinweis: Es gilt weiterhin  $R_L = 10 \Omega$ )



- 4.6. Wie könnte die Schutzschaltung ergänzt werden, um die Spannung  $U_A$  auf  $U_A > -1,0 \text{ V}$  zu limitieren (preiswerte Lösungen bevorzugt!). Ergänzen Sie dazu die Schaltung auf der vorherigen Seite.

\*\*\*\*\* *Viel Erfolg!* \*\*\*\*\*