

Schriftliche Kernfachprüfung 11. September 2009

Passive Bauelemente (Bachelor)

Der Beginn der Prüfung wird von der Prüfungsaufsicht bekannt gegeben. Wenn Sie vor dem offiziellen Beginn diese Seite umschlagen und die Aufgaben einsehen, wird dies als Täuschungsversuch gewertet. Füllen Sie folgenden Kasten vollständig aus.

Nachname Musterlösung	Vorname extern	Matrikelnummer
	Zutreffendes bitte ankreuzen <input type="checkbox"/> Erstprüfung <input type="checkbox"/> Wiederholungsprüfung	EDV-Nummer
Wiederholer/innen bitte ausfüllen		
Straße/Nummer	Postleitzahl/Ort	
Telefon	E-Mail	

Zur Prüfung zugelassene / mitzubringende Hilfsmittel

- Es sind keine Hilfsmittel außer den angegebenen erlaubt.
- Formelsammlung für PB SS 2009 (ohne handschriftliche Notizen)
- Zwei handschriftlich (einseitig) beschriebene DIN-A4-Seiten
- Taschenrechner und Schreibzeug (Lineal, Stifte etc., keine Bleistifte verwenden)

Hinweise zum Ablauf der Prüfung

- Halten Sie Ihren Studierendenausweis und Ihre Immatrikulationsbescheinigung bereit.
- Nach Prüfungsbeginn kontrollieren Sie bitte zuerst, ob das vorliegende Prüfungsheft vollständig ist.
- Die Prüfungsdauer beträgt 3 Zeitstunden.
- Jegliche Kommunikation ist während der Prüfung untersagt.
- Während der Prüfung werden Fragen zu Aufgaben oder Stoffgebiet nicht beantwortet.
- Beachten Sie Tafelanschriften und Folien, die zu Beginn oder während der Prüfung gezeigt werden.

Hinweise zum Bearbeiten der Aufgaben

- Die Prüfung besteht aus 30 Antwort-Wahl-Fragen (Teil 1) und 3 Rechenaufgaben (Teil 2). In den beiden Teilen sind jeweils 30 Punkte erreichbar.
- Falls Ihnen die deutsche Sprache Schwierigkeiten bereitet, können Sie Begründungstexte alternativ in englischer Sprache formulieren.
- Wenn Sie den Unterpunkt einer Rechenaufgabe nicht gelöst haben, rechnen Sie mit den angegebenen Größen / Zahlenwerten weiter.
- Lösungen auf eigenen Blättern, unzureichend gekennzeichnete Lösungen und Lösungen auf Blättern ohne Angabe von Name, Matrikelnummer oder Aufgabennummer werden nicht gewertet.
- Für die Lösung ist der dafür vorgesehene Bereich unterhalb der jeweiligen Aufgabenstellung zu verwenden. Falls der vorhandene Platz nicht ausreichen sollte, verwenden Sie das hinten beigefügte Zusatzblatt. Bei Bedarf werden von der Prüfungsaufsicht weitere Blätter ausgegeben. Für jede Aufgabe muss eine separate Zusatzseite verwendet werden. Sind auf einer Seite Teile mehrerer Aufgaben gelöst worden, wird entsprechend der Aufgabennummer in der Kopfzeile gewertet.
- Die Ergebnisse und Begründungen sind in die dafür vorgesehenen Bereiche, Felder oder Diagramme zu schreiben bzw. anzukreuzen. Beschriften Sie keinesfalls die grau hinterlegten Korrekturfelder.

Viel Erfolg!

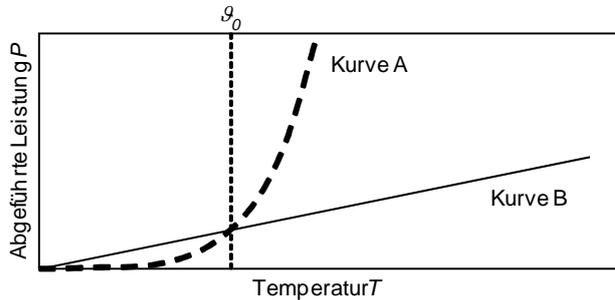
Teil 1: Antwort-Wahl-Fragen (30 Punkte)

Bei den folgenden Antwort-Wahl-Fragen können jeweils eine oder mehrere Antworten richtig sein. Es wird je Frage 1 Punkt vergeben, wenn genau alle richtigen Antworten und keine falschen Antworten angekreuzt sind. Teilpunkte werden nicht vergeben.

1. Edelgase:
 - Edelgase gewinnen durch die Aufnahme eines Elektrons Energie.
 - Edelgase besitzen eine relativ hohe Elektronenaffinität.
 - Edelgase besitzen eine relativ hohe Ionisierungsenergie.
 - Edelgase besitzen eine stabile (vollbesetzte) Hülle.
2. Für das Bohrsche Atommodell gilt:
 - der Atomkern ist positiv geladen.
 - es weist ohne Postulate Widersprüche auf.
 - Elektronen können beliebige Energiewerte annehmen (d.h. sie können auf Bahnen mit beliebigem Radius um den Kern kreisen).
 - die Atomorbitale sind zentraler Bestandteil des Bohrschen Atommodells.
3. Warum bildet Helium kein „He₂-Molekül“?
 - Der Atomradius von Helium ist zu groß.
 - Die Einzelatome besitzen bereits Edelgaskonfiguration.
 - Die Bildung eines Moleküls ergibt keinen energetischen Vorteil für die Bindungspartner.
4. Chemische Bindung
 - Elementhalbleiter besitzen einen hohen ionischen Bindungsanteil.
 - Bei einer kovalenten Bindung werden die Bindungswinkel zwischen den Atomen durch die Hybridorbitale festgelegt.
 - Atome eines Elements gehen untereinander immer rein kovalente Bindungen ein.
5. Amorphe Festkörper
 - zeigen Nahordnung, aber keine Fernordnung.
 - haben eine Vorzugsrichtung (anisotropes Verhalten).
 - haben keine Vorzugsrichtung (isotropes Verhalten).
6. Kristallgitter
 - Bei der kubisch dichtesten Kugelpackung ist die Raumerfüllung von der Gitterkonstanten abhängig.
 - Die Gitterkonstante bei der hexagonal dichtesten Packung ist unabhängig vom Ionendurchmesser.
 - Die Koordinationszahl gibt die Anzahl der nächsten Nachbarn eines Atoms an.
7. Kröger-Vink-Notation: Was beschreibt der Ausdruck $[A_B^x]$?
 - Die Defektspezies.
 - Die Konzentration der Defektspezies.
 - Den Ausschluss dieser Defektspezies.
 - Einen Kristallgittertyp.

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

8. In der Abbildung ist die durch Wärmeübertragung abgeführte Leistung P über der Temperatur T dargestellt. Welche Aussagen treffen zu?



Abgeführte Leistung durch Wärmeübertragung

- $P \propto T^1$ (Kurve B) \rightarrow Konvektion
- $P \propto T^1$ (Kurve B) \rightarrow Strahlung
- $P \propto T^4$ (Kurve A) \rightarrow Strahlung
- $P \propto T^4$ (Kurve A) \rightarrow Wärmeleitung

9. In welchem der zur Auswahl stehenden Medien kann Wärmeübertragung durch Konvektion stattfinden?
- Metall
 - Salzlösung
 - Gas
 - Kristall
10. Die maximal zur Signalübertragung nutzbare Länge eines Lichtwellenleiters wird unter anderem begrenzt durch
- die Signaldämpfung, ausgedrückt in dB/km.
 - die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Faserkern.
 - die Modendispersion.
11. In Metallen gilt allgemein für die Anzahl n der freien Leitungselektronen
- $n < p$.
 - $n \sim e^{-\frac{W_g}{kT}}$.
 - $n = const.$
12. Die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit eines reinen Metalls wird
- von der Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerkonzentration bestimmt.
 - von der Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerbeweglichkeit bestimmt.
 - von der Ionisierungsenergie des Elements bestimmt.
13. Mit steigender Feldstärke E steigt in einem Leiterwerkstoff die Stromdichte j , weil
- die Driftgeschwindigkeit der Elektronen steigt.
 - die Stoßzeit der Elektronen sinkt.
 - die Ladungsträgerbeweglichkeit zunimmt.
14. Die Matthiessensche Regel
- gilt nur für perfekte, fehlerfreie Kristallgitter.
 - beschreibt die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Widerstands in Metallen.
 - beschreibt die Temperaturabhängigkeit der Konzentration von Fremdatomen in intrinsischen Halbleitern.
 - besagt, dass es einen temperaturabhängigen und einen temperaturunabhängigen Anteil des spezifischen Widerstands von Metallen gibt.

15. Bei welchem der folgenden Effekte handelt es sich um einen thermoelektrischen Effekt?
- Piezo-Effekt
 - Peltier-Effekt
 - Seebeck-Effekt
 - Meißner-Ochsenfeld-Effekt
16. Welche Aussagen zu nichtlinearen Widerständen und den verwendeten Materialien sind richtig?
- Halbleiter haben einen negativen Temperaturkoeffizienten des el. Widerstands.
 - Halbleiter basieren auf Korngrenzphänomenen.
 - Bei Varistoren steigt der Strom ab einer bestimmten Spannung linear an.
17. Welche Anwendungsmöglichkeiten für PTCs sind zutreffend?
- Überspannungsschutz
 - selbstregelndes Heizelement
 - Strömungsmessung
18. Ein Kaltleiter taucht in Heizöl von 25 °C. Wie verschiebt sich seine Strom-Spannungs-Kennlinie, wenn die Temperatur des Heizöls ansteigt?
- Nach höheren Stromwerten.
 - Nach niedrigeren Stromwerten.
 - Überhaupt nicht.
19. Welche Aussagen zu Varistoren treffen zu?
- Der Widerstand von Varistoren ist spannungsabhängig.
 - Der Effekt beruht auf Korngrenzeffekten, mit einer Anreicherung der Elektronen an der Korngrenze.
 - Eine zusätzliche Dotierung der Korngrenzen hat bei Varistoren keine Auswirkung.
20. Halbleiter (NTCs)
- zeigen im Anwendungsbereich eine Temperaturabhängigkeit der Form

$$\sigma(T) \propto \frac{1}{T} \cdot \exp\left(-\frac{W_A}{kT}\right).$$
 - können nur bei sehr hohen Temperaturen ($T > 600 \text{ °C}$) eingesetzt werden.
 - bestehen aus temperaturbeständigen Metalloxiden und sind daher bei hohen Temperaturen ($T \leq 1000 \text{ °C}$) als Temperatursensor hervorragend geeignet.
 - sind aufgrund ihrer nichtlinearen $R(T)$ -Abhängigkeit als Temperatursensor unbrauchbar.
21. Supraleitung:
- Unterhalb der Sprungtemperatur T_C verhält sich ein Supraleiter wie ein idealer Diamagnet.
 - In einem Supraleiter 2. Art hängt die Anzahl von Flussschläuchen von der äußeren magnetischen Feldstärke H ab.
 - Oberhalb der Sprungtemperatur T_C fließen in einer dünnen Oberflächenschicht Ringströme, die das Magnetfeld im Inneren des Supraleiters verdrängen.
 - Die kritische Stromdichte nimmt mit sinkender Temperatur zu.
22. Ein Kondensator wird im Vakuum betrieben. Wird er nun mit Luft gefüllt (bei ansonsten gleichen Betriebsbedingungen), so wird seine Kapazität
- kleiner.
 - größer.
 - gleich bleiben.

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

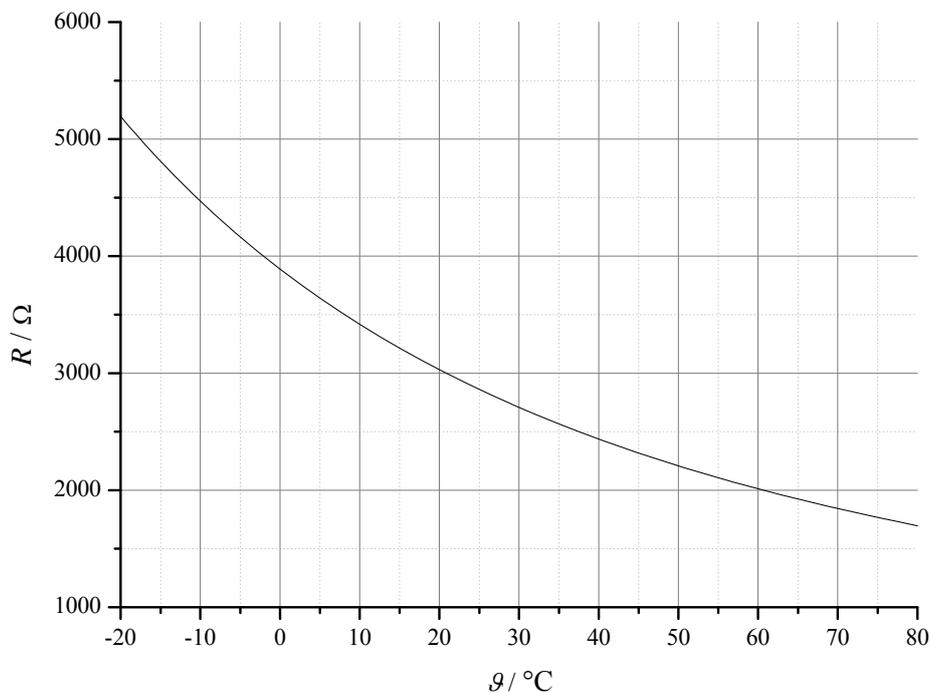
23. Keramik-Kondensatoren basierend auf ferroelektrischen Werkstoffen
- erzielen höhere Kapazitätswerte als baugleiche Kondensatoren mit paraelektrischen Dielektrika.
 - können in Einschicht- oder Vielschichtbauweise hergestellt werden.
 - besitzen eine geringe Durchschlagfestigkeit.
 - erreichen sehr hohe Kapazitätswerte pro Volumen durch eine große Dielektrizitätskonstante ϵ_r .
24. Ein Kondensator sei mit einem Dielektrikum gefüllt, in dem die Ionenpolarisation betrachtet wird. Bei welchen Frequenzen zeigt der Kondensator die höchste Kapazität?
- Bei Frequenzen f knapp unterhalb f_0 .
 - Bei der Resonanzfrequenz f_0 .
 - Bei Frequenzen f knapp oberhalb f_0 .
25. Orientierungspolarisation beruht auf der Einwirkung eines elektrischen Felds auf
- frei bewegliche Ladungsträger.
 - lokalisierte und frei bewegliche Ladungsträger.
 - permanente Dipole.
26. Piezoelektrische Bauelemente
- weisen eine remanente Polarisation und Dehnung in Abhängigkeit vom zuvor angelegten elektrischen Feld auf.
 - ermöglichen eine elektromechanische Energiewandlung mit einem Wirkungsgrad von bis zu 70 %.
 - können nicht bei Temperaturen $T > T_C$ eingesetzt werden.
27. Welche Aussagen bezüglich der verschiedenen Arten von Magnetismus treffen zu?
- Bei Diamagneten gilt $\mu_r < 1$ bzw. $\chi_m < 0$.
 - Ideale Diamagnete besitzen $\chi_m = 1$.
 - Bei Ferro- bzw. Ferrimagnetismus gilt $\mu_r \gg 1$.
 - Paramagnetismus setzt Atome bzw. Moleküle mit mindestens einem ungepaarten Elektron voraus.
28. Ferromagnetismus
- ist die schwächste Form des Magnetismus.
 - hat eine Hysterese der $B(H)$ -Abhängigkeit zur Folge.
 - ist gekennzeichnet durch die Existenz von Weiß'schen Bezirken unterhalb der Curie-Temperatur.
29. Für die Hystereseverlustleistungsdichte p_H in einem ferromagnetischen Werkstoff gilt:
- $p_H \propto H_C$
 - $p_H \propto B_R$
 - $p_H \propto f$
 - $p_H \propto \oint H dB$
30. Ferrite (z.B. CuO-Fe₂O₃)
- sind im Gegensatz zu Eisen besser für HF-Anwendungen geeignet.
 - sind ferromagnetisch.
 - besitzen einen linearen Zusammenhang zwischen Induktion B und magn. Feldstärke H .

Punkte AWF

Teil 2: Rechenaufgaben (30 Punkte)

Rechenaufgabe A1: NTC

a) Im folgenden Diagramm ist die Abhängigkeit des elektrischen Widerstands R von der Temperatur ϑ (in $^{\circ}\text{C}$) eines NTC-Widerstandes gezeigt. Bestimmen Sie die Koeffizienten A und B zur funktionalen Beschreibung der Temperaturabhängigkeit gemäß der Beziehung $R(T) = A \exp(B/T)$. (3 Punkte)



Ablezen der Werte aus dem Diagramm:

$$\begin{aligned} R_1 &= 3000 \, \Omega & \vartheta_1 &= 20 \, ^{\circ}\text{C} & T_1 &= 293,15 \, \text{K} \\ R_2 &= 2000 \, \Omega & \vartheta_2 &= 60 \, ^{\circ}\text{C} & T_2 &= 333,15 \, \text{K} \end{aligned}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{e^{\frac{B}{T_1}}}{e^{\frac{B}{T_2}}} \quad \rightarrow \quad B = \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}}$$

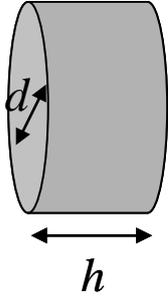
$$\rightarrow A = \frac{R_1}{e^{\frac{B}{T_1}}}$$

$A \approx 100 \, \Omega$ $B \approx 1000 \, \text{K}$	Punkte A1.a
---	-------------

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

b) Ein zylinderförmiger NTC, siehe Abbildung, wird an ruhender Luft der Temperatur ϑ_U betrieben. Berechnen Sie die fehlenden Werte in der unten angegebenen Tabelle unter Berücksichtigung der Selbsterwärmung und skizzieren Sie mit Hilfe dieser „Stützpunkte“ die U - I -Kennlinie des NTCs. (3 Punkte)

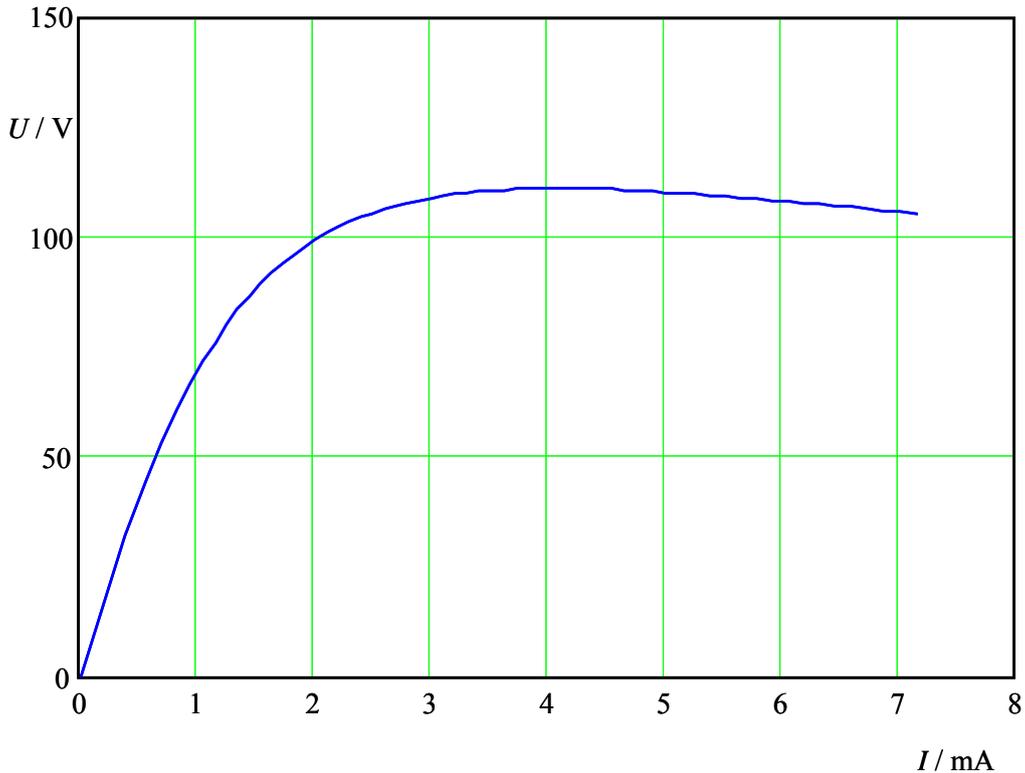
Hinweis: Berechnen Sie weitere, geeignete Stützpunkte!



Zahlenwerte:

- Durch Konvektion abgeführte Leistung $P_K = \alpha_L \cdot A_O \cdot (T_{Th} - T_U)$
- Temperaturabhängigkeit des Widerstands $R(T_{Th}) = A \cdot \exp(B/T_{Th})$
- Gesamte Oberfläche des Heißleiters A_O
- Durchmesser des Heißleiters $d = 10 \text{ mm}$
- Dicke des Heißleiters $h = 5 \text{ mm}$
- Umgebungstemperatur $\vartheta_U = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Wärmeübergangszahl an Luft $\alpha_L = 4 \text{ mW} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- Thermistorkonstanten $A = 3 \text{ } \Omega$
- $B = 3000 \text{ K}$

Temperatur des NTC $\vartheta_{Th} / \text{ }^\circ\text{C}$	Spannung am NTC U / V	Strom durch NTC I / mA
$\vartheta_{Th,1} = 36$	$U_1 = 99$	$I_1 = 2$
$\vartheta_{Th,2} = 79$	$U_2 = 105$	$I_2 = 7$



Lösung:

$$\text{Gesamte Oberfläche des Heißleiters: } A_0 = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot \pi \cdot 2 + d \cdot \pi \cdot h = 3,14 \text{ cm}^2$$

$$\text{Abgeführte Leistung: } P_K = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

$$\text{Widerstand des Thermistors: } R_{(T_{Th})} = A \cdot e^{\frac{B}{T_{Th}}}$$

$$\text{Spannung am Thermistor: } U_{(T_{Th})} = \pm \sqrt{R_{(T_{Th})} \cdot [\alpha_L \cdot A_0 \cdot (T_{Th} - T_U)]}; \quad T_U = \vartheta_U + 273,15$$

$$\text{Strom am Thermistor: } I_{(T_{Th})} = \pm \sqrt{\frac{[\alpha_L \cdot A_0 \cdot (T_{Th} - T_U)]}{R_{(T_{Th})}}}$$

Lösungen, die im Kennlinienfeld liegen:

Siehe rote/kursive Werte in Tabelle

<i>Siehe Tabelle</i>	Punkte A1.b
----------------------	-------------

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

c) Berechnen Sie für den in Teilaufgabe b) gegebenen NTC (gleiche Geometrie und gleiche thermische Randbedingungen), aber mit den Kennwerten $A = 1 \text{ m}\Omega$ und $B = 6000 \text{ K}$ die Temperatur T_{max} , bei der die über dem Bauteil abfallende Spannung maximal wird. Geben Sie den Wert U_{max} der maximalen Spannung an.

(4 Punkte)

Durch Konvektion abgeführte Leistung:
$$P_K = \frac{U^2}{R} = \alpha_L \cdot O \cdot (T - T_U)$$

Spannung am NTC als Funktion der Temperatur:
$$U^2 = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \cdot \alpha_L \cdot O \cdot (T - T_U)$$

Temperatur bei maximaler Spannung:

$$\frac{d}{dT} U^2 = \alpha_L \cdot O \cdot A \cdot \left(-\frac{B}{T^2} \cdot e^{\frac{B}{T}} + e^{\frac{B}{T}}\right) - \alpha_L \cdot O \cdot A \cdot T_U \cdot \left(-\frac{B}{T^2} \cdot e^{\frac{B}{T}}\right) = \alpha_L \cdot O \cdot A \cdot e^{\frac{B}{T}} \cdot \left(1 - \frac{B}{T^2} \cdot (T - T_U)\right) = 0$$

$$\Rightarrow T^2 - B \cdot T + B \cdot T_U = 0$$

$$\Rightarrow T_{max} = \frac{B}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - 4 \frac{T_U}{B}}\right)$$

$$T_{max} = \frac{6000 \text{ K}}{2} \left(1 \pm \sqrt{1 - 4 \frac{(20 + 273,15) \text{ K}}{6000 \text{ K}}}\right)$$

$$\Rightarrow T_{max1} = 5690 \text{ K (unrealistisch)}; T_{max2} = 309 \text{ K (Lösung)}$$

Maximale Spannung am Thermistor:

$$U(T_{max2}) = \sqrt{A \cdot e^{\frac{B}{T_{max2}}} \cdot \alpha_L \cdot O \cdot (T_{max2} - T_U)}$$

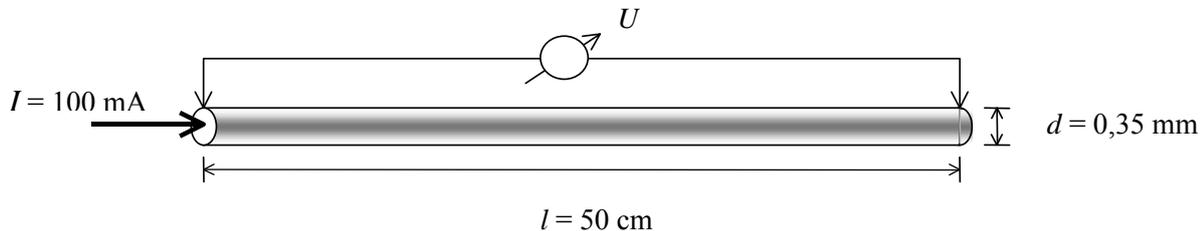
$$= \sqrt{0,001 \Omega \cdot e^{\frac{6000 \text{ K}}{309 \text{ K}}} \cdot 4 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2} \text{K}^{-1} \cdot 3,14 \cdot \text{cm}^2 \cdot (309 \text{ K} - (273,15 + 22) \text{ K})}$$

$$= 232 \text{ V}$$

$T_{max} = 309 \text{ K}$ $U_{max} = 232 \text{ V}$	Punkte A1.c
--	-------------

Rechenaufgabe A2: Metalle

Betrachtet wird ein zylindrischer Draht aus Platin (Pt) mit der Länge l und dem Durchmesser d . Der Draht wird auf der konstanten Temperatur $T_U = 25\text{ °C}$ gehalten und von einem Strom I durchflossen (siehe Bild).



a) Über die Enden des Drahtes wird eine Spannung von $U = 54,5\text{ mV}$ gemessen. Wie groß ist die elektrische Leitfähigkeit σ von Platin? (1 Punkt)

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{A}$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{l}{R \cdot A} = \frac{I \cdot l}{U \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{100\text{ mA} \cdot 50\text{ cm}}{54,5\text{ mV} \cdot \pi \cdot \left(0,035\text{ cm}/2\right)^2}$$

$$\approx 9,54 \cdot 10^4\text{ S cm}^{-1}$$

$\sigma = 9,54 \cdot 10^4\text{ S/cm}$	Punkte A2.a
--	-------------

b) Wird der Pt-Draht nun in Längsrichtung gedehnt, ändern sich aufgrund der Verformung zusätzlich die Querschnittsfläche A und der spezifische Widerstand ρ des Materials. Berechnen Sie aus dem totalen Differential der Widerstandsänderung allgemein die relative Widerstandsänderung dR/R bei Längsdehnung in Abhängigkeit von dl/l , $d\rho/\rho$ und der Querkontraktionszahl (Poisson-Zahl) ν . (2 Punkte)

Hinweis: Totales Differential $dR = \frac{\partial R}{\partial l} dl + \frac{\partial R}{\partial A} dA + \frac{\partial R}{\partial \rho} d\rho$. Der Rechenweg muss klar ersichtlich sein!

$$(1) \quad \frac{\partial R}{\partial l} = \frac{\rho}{A}$$

$$(2) \quad \frac{\partial R}{\partial A} = -\frac{\rho l}{A^2}$$

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

$$(3) \quad \frac{\partial R}{\partial \rho} = \frac{l}{A}$$

$$(4) \Rightarrow \frac{dR}{R} = \frac{dl}{l} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho}$$

$$(5) \quad \nu = -\frac{1}{2} \cdot \frac{dA/A}{dl/l} \quad (\text{siehe Formelsammlung})$$

(5) in (4) liefert dann das gesuchte Ergebnis:

$$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l}(1+2\nu) + \frac{d\rho}{\rho}$$

$\frac{dR}{R} = \frac{dl}{l}(1+2\nu) + \frac{d\rho}{\rho}$	Punkte A2.b
--	-------------

In den folgenden Aufgabenteilen ist die Längenänderung des Drahtes aufgrund von Temperaturerhöhung zu vernachlässigen.

c) Der Messstrom I wird nun auf 3 A erhöht. Der Pt-Draht erwärmt sich dadurch auf eine Oberflächentemperatur von $T_O = 131 \text{ °C}$. Die Umgebungstemperatur bleibt konstant bei $T_U = 25 \text{ °C}$. Für die Temperaturerhöhung gilt $\Delta T = T_O - T_U$. Berechnen Sie hieraus den linearen Temperaturkoeffizienten $\alpha_\rho = (1/\rho) \cdot (\Delta\rho/\Delta T)$ des spezifischen Widerstands ρ von Platin zwischen 25 °C und 131 °C . **(3 Punkte)**

Hinweis: Die von dem Draht über die Oberfläche A_O durch Konvektion abgeführte Wärmeleistung berechnet sich gemäß $P_K = s_W \sqrt{l} \sqrt{A_O} \Delta T^{5/4}$ mit $s_W = 1,23 \text{ W} \cdot \text{K}^{-5/4} \cdot \text{m}^{-3/2}$.

$$P_K = P_{\text{elektrisch}} = I^2 R_{\text{warm}}$$

$$s_W \sqrt{l} \sqrt{A_0} \cdot \Delta T^{5/4} = I^2 \cdot R_{25^\circ\text{C}} (1 + \alpha_\rho \Delta T)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \alpha_\rho &= \frac{1}{\Delta T} \cdot \left(\frac{s_W \sqrt{l} \sqrt{A_0} \cdot \Delta T^{5/4}}{I^2 \cdot R_{25^\circ\text{C}}} - 1 \right) = \frac{1}{\Delta T} \cdot \left(\frac{s_W \sqrt{l} \sqrt{\pi \cdot d \cdot l} \cdot \Delta T^{5/4}}{I^2 \cdot (U/I)_{25^\circ\text{C}}} - 1 \right) \\ &= \frac{1}{106 \text{ K}} \cdot \left(\frac{1,23 \text{ W} \cdot \text{K}^{-5/4} \cdot \text{m}^{-3/2} \cdot \sqrt{0,5 \text{ m}} \sqrt{\pi \cdot 0,00035 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}} \cdot (106 \text{ K})^{5/4}}{(3 \text{ A})^2 \cdot (54,5 \text{ mV}/100 \text{ mA})} - 1 \right) \\ &\approx 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1} \end{aligned}$$

$$\alpha_\rho = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

Punkte A2.c

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------

Wenn Sie diesen Punkt nicht gelöst haben, rechnen Sie mit $\alpha_\rho = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ weiter.

d) Der Pt-Draht wird nun bei 25 °C um 2,5 % längs gedehnt. Die Dehnung wird über den Widerstand des Drahtes gemessen. Um wie viel Kelvin darf der Draht durch den Messstrom maximal erwärmt werden, damit der durch die Eigenerwärmung des Drahtes resultierende Messfehler unterhalb von 10 % bleibt? (2 Punkte)

Hinweis: Platin weist einen k -Faktor von $k_{Pt} = 2,16$ auf.

$$\frac{\Delta l}{l} = 0,025$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R_{\text{Dehnung}}}{R} \stackrel{\text{Teil b)}}{\approx} 2,16 \cdot \frac{\Delta l}{l} = 0,054$$

Es soll nun gelten:

$$\frac{\Delta R_{\text{Erwärmung}}}{R} \stackrel{!}{\leq} 0,1 \cdot \frac{\Delta R_{\text{Dehnung}}}{R}$$

$$\Rightarrow \alpha_\rho \cdot \Delta T \stackrel{!}{\leq} 0,1 \cdot 0,054$$

$$\Rightarrow \Delta T \stackrel{!}{\leq} 0,0054 \cdot \frac{1}{\alpha_\rho} = 0,0054 \cdot \frac{1}{3,9 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}} = 1,4 \text{ K}$$

$\Delta T = 1,4 \text{ K}$	Punkte A2.d
----------------------------	-------------

e) Die Temperaturabhängigkeit des Widerstands schränkt die erzielbare Messgenauigkeit von Dehnmessstreifen aus Metallen stark ein. Nennen Sie zwei Möglichkeiten, wie der Einfluss der Temperatur in der praktischen Anwendung reduziert werden kann. (2 Punkte)

<p>(1) zwei DMS-Elemente in Brückenschaltung verwenden</p> <p>(2) temperaturkompensierte Widerstandsmaterialien (Konstantan) oder Halbleiter verwenden</p> <p>ebenfalls bewertbar: Widerstandsmaterial mit höherem k-Faktor</p>	Punkte A2.e
--	-------------

Rechenaufgabe A3: Dielektrika

Ein Dielektrikum lässt sich durch ein Ersatzschaltbild nach Bild 1 darstellen. Auf dem zylinderförmigen Plättchen sind zwei Elektroden (oben und unten) mit jeweils $A = 100 \text{ mm}^2$ aufgebracht. Die Dicke des Plättchens beträgt $d = 1 \text{ mm}$.

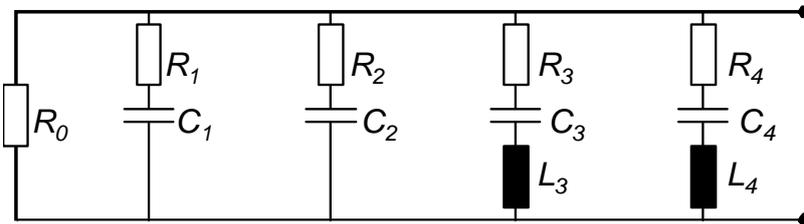
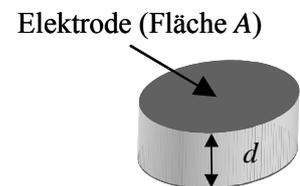


Bild 1



a) Es ist bekannt, dass das Dielektrikum keine Raumladungspolarisation aufweist. Welche der Ersatzschaltbildelemente sind damit bestimmt? Begründen Sie Ihre Auswahl. Geben Sie die Werte dieser Elemente an. (2 Punkte)

Raumladungspolarisation \rightarrow Relaxation (Kap. 3, Folie 15)

Relaxation wird im ESB durch die Serienschaltung der Raumladungskapazität mit einem die Verluste repräsentierenden Widerstand abgebildet.

\rightarrow entweder R_1 und C_1 oder R_2 und C_2 repräsentieren die Raumladungspolarisation

daher:

$$R_1 = 0 \text{ und } C_1 = 0$$

$$\text{oder } R_2 = 0 \text{ und } C_2 = 0$$

	Punkte A3.a
--	-------------

Wenn Sie diesen Punkt nicht gelöst haben, gehen Sie davon aus, dass Raumladungspolarisation auftritt.

b) Im Folgenden wird das Dielektrikum im technisch relevanten Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 GHz betrachtet. Welche der Ersatzschaltbildelemente können in diesem Frequenzbereich vernachlässigt werden? Begründen Sie Ihre Auswahl. Welche Werte nehmen diese Ersatzschaltbildelemente an? Zeichnen Sie ein für den Frequenzbereich von 0 Hz bis 10 GHz gültiges, möglichst einfaches Ersatzschaltbild. (3 Punkte)

Da die Ionen- und die Elektronenpolarisation erst bei Frequenzen $> 10^{11} \text{ Hz}$ in die Resonanz gehen, können diese Effekte, die durch die Ersatzschaltbildelemente R_3, R_4, L_3 und L_4 beschrieben werden, vernachlässigt werden. Damit wird:

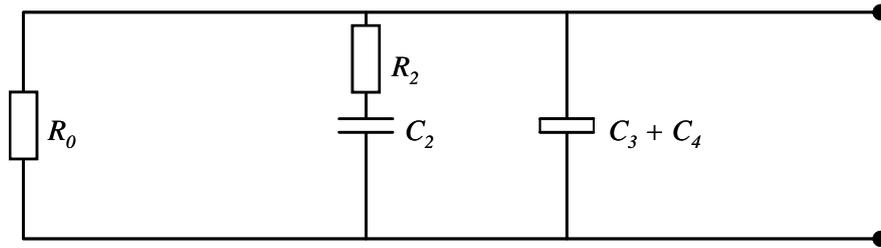
$$R_3 = R_4 = 0$$

$$L_3 = L_4 = 0$$

Die Kapazitätsbeiträge C_3 und C_4 bleiben erhalten.

ESB:

Nachname	Vorname(n)	Matrikelnummer
----------	------------	----------------



	Punkte A3.b
--	-------------

In Bild 2 sind Real- und Imaginärteil der komplexen Dielektrizitätszahl der Probe aus Bild 1 über der Frequenz aufgetragen.

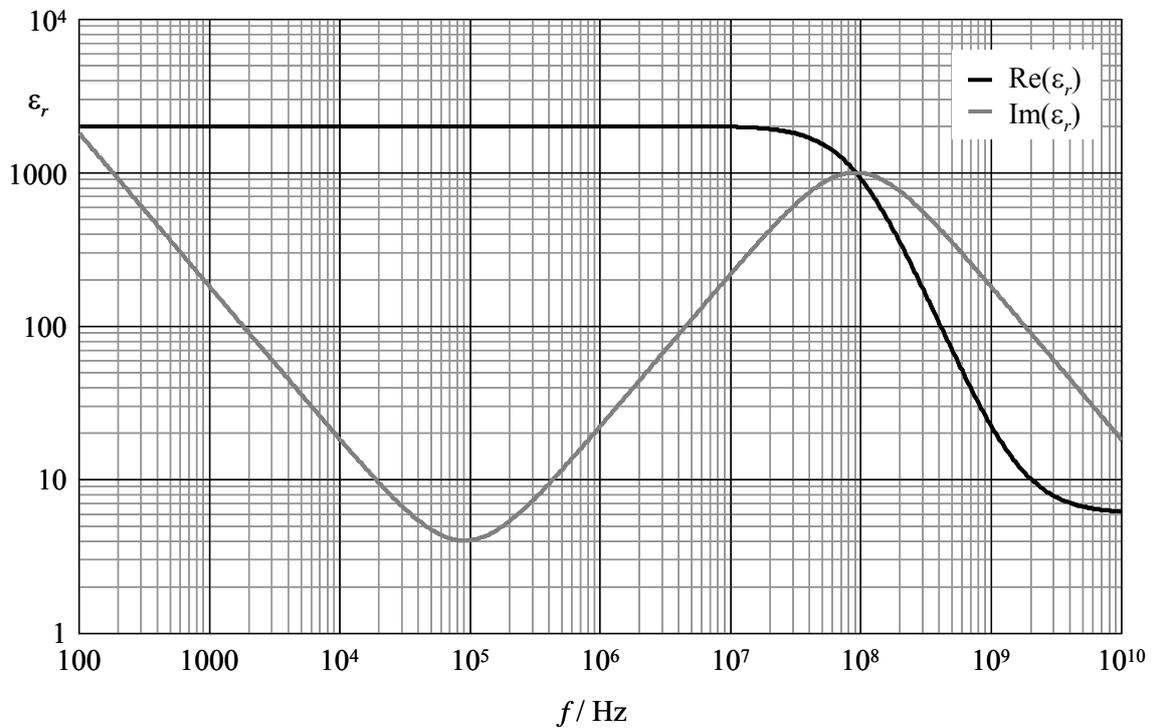


Bild 2

c) In welchem Frequenzbereich kann das Dielektrikum sinnvoll in einem Kondensator eingesetzt werden? (1 Punkt)

Anforderung an einen Kondensatorwerkstoff:
hohes, konstantes ϵ_r : ist gegeben für $f < 10^7$ Hz

	Punkte A3.c
--	-------------

d) In welchem Frequenzbereich wird ein $\tan \delta < 0,01$ erreicht? (2 Punkte)

Forderung $\tan \delta = \varepsilon_r'' / \varepsilon_r' < 0,01$

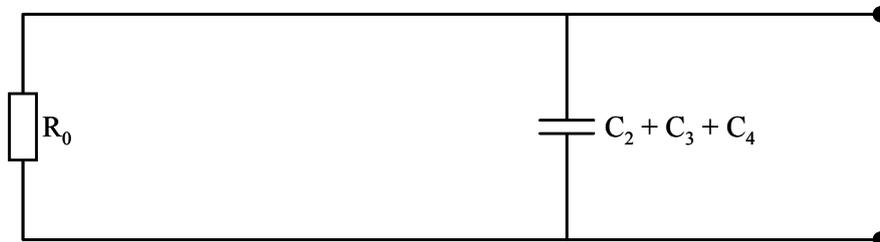
für $f < 10^7$ Hz ist $\varepsilon_r' \approx 2000$

für $\tan \delta < 0,01$ muss $\varepsilon_r'' < 20$ sein

dies ist im Frequenzbereich $7 \text{ kHz} < f < 700 \text{ kHz}$ erfüllt.

Punkte A3.d

e) Zeichnen Sie für den Kondensator aus Bild 2 ein für den Frequenzbereich von 0 Hz bis 30 kHz gültiges, möglichst einfaches Ersatzschaltbild. (2 Punkte)



Punkte A3.e