

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

Schriftliche Kernfachprüfung 08. März 2010

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!

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

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.

- Das Pauli-Prinzip besagt,
 - wie die quantentheoretischen Zustände in einem Atom besetzt werden.
 - dass 2 Elektronen in einem Atom nicht auf derselben Schale sitzen dürfen.
 - dass 2 Elektronen in einem Atom nicht in allen vier Quantenzahlen übereinstimmen dürfen.
 - dass jeder Energiezustand nur von einem Elektron besetzt werden kann.
- Zwischen zwei Atomen, die eine chemische Bindung eingehen, stellt sich ein Gleichgewichtsabstand r_0 ein wenn:
 - die potentielle Energie W minimal ist.
 - die potentielle Energie W Null ist.
 - $F_{eff} = F_{an} + F_{ab} = \text{minimal}$
 - $F_{eff} = F_{an} + F_{ab} = 0$
- In Edelgasen gehen die Atome keine Bindungen ein,
 - weil dies keinen energetischen Vorteil für die Bindungspartner ergibt.
 - weil der Atomradius der Edelgase zu groß ist.
 - weil die Aktivierungsenergie für die Ionisation bei Edelgasen zu hoch liegt.
- Kovalente Bindungen
 - zwischen zwei Atomen desselben Elements weisen keinen ionischen Bindungsanteil auf.
 - werden nur zwischen Elementen, die im Periodensystem sehr weit voneinander entfernt stehen, eingegangen.
 - können nicht zwischen Elementen, die im Periodensystem in derselben Gruppe (Spalte) stehen, eingegangen werden.
- Die Bindungskräfte in einem Ionenkristall sind
 - Dipol-Dipol-Kräfte.
 - Van-der-Waals-Kräfte
 - Coulombsche Kräfte.
- Bei der Kristallstruktur eines kubisch flächenzentrierten Gitters besteht die Elementarzelle aus
 - einem Atom.
 - zwei Atomen.
 - vier Atomen.
 - sechs Atomen.
- Frenkel-Defekte
 - Die Konzentration von Frenkel-Defekten steigt mit sinkender Temperatur.
 - Frenkel-Defekte haben eine Volumenvergrößerung des Körpers zur Folge.
 - können mechanische Spannungen in einem Körper abbauen.
 - Im Gleichgewicht gilt $[V_A] = [A_i]$.
- Die Wärmeübertragung bei Strahlung erfolgt über:
 - Phononen.
 - Gitterschwingung.
 - Photonen.

9. Singlemodedfasern
- zeigen geringere Dämpfungswerte als Multimodedfasern.
 - weisen so gut wie keine Modendispersion auf.
 - gehören genauso wie Stufenindex- und Gradientenfasern zur Gruppe der dielektrischen Wellenleiter.
10. Die Signalausbreitungsgeschwindigkeit in einer Multimodedfaser ist
- abhängig vom Brechungsindex n des verwendeten Leitermaterials.
 - genauso groß wie die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum.
 - geringer als die Ausbreitungsgeschwindigkeit im Vakuum und für alle ausbreitungsfähigen Moden gleich.
11. Das Fermi-niveau kann bei einem metallischen Leiter
- im Valenzband liegen.
 - im Leitungsband liegen.
 - in der Bandlücke liegen.
12. Der spezifische Widerstand von Metallen
- ist nur von der Temperatur abhängig.
 - ist bei tiefen Temperaturen von der Konzentration der Gitterfehlstellen abhängig.
 - wird umso geringer, je höher die Differenz der Ordnungszahlen der Fremdatome und der Wirtsgitteratome ist.
13. Das Wiedemann-Franz Gesetz beschreibt die Proportionalität von elektrischer Leitfähigkeit und Wärmeleitung für
- Metalle
 - Ionenleiter
 - Nur für Einkristalle
 - Halbleiter
14. Konstantan
- besteht aus reinem Kupfer.
 - eignet sich hervorragend als resistiver Temperatursensor.
 - wird für die Herstellung von Präzisionswiderständen verwendet.
 - gehorcht nur in einem engen Temperaturbereich dem ohmschen Gesetz.
15. Ein Varistor
- behält als einkristallines Material seine Funktionalität bei.
 - wird durch die spannungsabhängige Leitfähigkeit der Körner bestimmt.
 - wird durch Nennansprechstrom und -spannung sowie den Nichtlinearitätskoeffizient charakterisiert.
16. Heißleiter (NTCs) können
- zur Spannungsstabilisierung
 - zur Einschaltverzögerung
 - als Heizelement
 - zur Temperaturmessung werden.
17. Von welcher Abmessung eines Kaltleiters hängt sein Wärmewiderstand ab?
- Von der Dicke.
 - Von der Oberfläche.
 - Vom Volumen.

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

18. Wie verändert sich die Verzögerungszeit eines Relais, wenn die Umgebungstemperatur des Kaltleiters erhöht wird?
- Sie wird kürzer.
 - Sie wird länger.
 - Sie bleibt gleich.
19. Zwei Kaltleiter mit gleichen Abmessungen und gleichem Anfangswiderstand bei 25 °C, aber verschiedenen Nenntemperaturen (120 °C und 160 °C), sind in Reihe geschaltet. Wie verhalten sich ihre Temperaturen, wenn eine Spannung angelegt wird, die ausreicht, um einen der Kaltleiter über seine Nenntemperatur zu erwärmen?
- Der 120-°C-Kaltleiter wird wärmer.
 - Der 160-°C-Kaltleiter wird wärmer.
 - Beide Kaltleiter haben die gleiche Temperatur.
20. Cooper- Paare (Supraleitung)
- existieren nur unterhalb der Sprungtemperatur T_C
 - bestehen aus zwei gekoppelten Elektronen mit antiparallelen Spins und entgegengesetzten Impulsen.
 - bestehen aus zwei gekoppelten Elektronen mit parallelen Spins und gleichen Impulsen.
21. Bariumtitanat
- ist unterhalb der Curie-Temperatur T_C paraelektrisch.
 - besitzt in der ferroelektrischen Phase zwei gleichberechtigte Lagen für das Titan-Ion.
 - besitzt im tetragonalen Zustand eine polare Achse.
22. Ein Einschichtkondensator mit ferroelektrischem Dielektrikum wird bei einer Temperatur $T < T_C$ aufgeladen und von der Spannungsquelle getrennt. Beim Erwärmen des Kondensators auf $T \gg T_C$
- steigt die Spannung an.
 - bleibt die Spannung gleich.
 - sinkt die Spannung ab.
23. Ein mit Luft gefüllter Plattenkondensator wird an eine Konstantspannungsquelle angeschlossen. Führt man eine Teflonplatte ($\epsilon_r = 2$) in den Zwischenraum ein
- steigt die Kapazität C .
 - sinkt die dielektrische Verschiebungsdichte D zwischen den Platten.
 - steigt die Stärke des E-Feldes zwischen den Platten.
24. Piezoelektrizität
- Der Piezoeffekt wird nicht in Metallen beobachtet.
 - Die piezoelektrische Polarisation tritt nicht auf, wenn der Kristall ein Symmetriezentrum besitzt.
 - Die piezoelektrische Polarisation tritt nur bei Kristallen auf, die ein Symmetriezentrum besitzen.
25. Piezoelektrische Keramiken
- werden bei Temperaturen $T < T_C$ als elektromechanische Wandler eingesetzt.
 - weisen eine remanente Polarisation und Dehnung in Abhängigkeit des zuvor angelegten elektrischen Feld E auf.
 - besitzen ein Kristallgitter mit Symmetriezentrum.
26. Der Verlustfaktor $\tan(\delta)$ eines realen Kondensators ist
- ein Maß für Abweichung des Kondensators vom rein kapazitiven Verhalten.
 - unabhängig von der Güte des Kondensators.
 - frequenzabhängig.

27. Das Bohrsche Magneton μ_B
- ergibt sich aus Elementarladung e_0 und Elektronenmasse m_e .
 - ist abhängig vom Bahndrehimpuls der Elektronen.
 - stellt das Elementarquantum magnetischer Momente dar.
 - ist der Betrag des magnetischen Moments μ_s der Eigendrehung der Elektronen.
28. Diamagnetismus
- ist die stärkste Form des Magnetismus.
 - bewirkt eine (teilweise) Verdrängung eines äußeren Magnetfeldes aus dem Werkstoff.
 - wird durch vorhandene permanente magnetische Dipole verursacht.
 - in idealer Form ($\chi_m = -1$) ist bei Supraleitern unterhalb der Sprungtemperatur T_C anzutreffen.
29. In der Energietechnik werden in Transformatoren
- hartmagnetische Werkstoffe eingesetzt, da sie aufgrund ihrer hohen Koerzitivfeldstärke hohe Induktionen vertragen.
 - weichmagnetische Werkstoffe verwendet, da die magnetischen Verluste geringer sind.
 - diamagnetische Werkstoffe verwendet, da die magnetische Polarisation J temperaturunabhängig ist.
30. Eine Spule ist an eine Wechselstromquelle angeschlossen. Mit steigender Betriebsfrequenz
- werden die auftretenden Verluste größer.
 - werden die auftretenden Verluste kleiner.
 - bleiben die auftretenden Verluste gleich.
 - nehmen die Hystereseverluste zu.

Punkte AWF

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

Teil 2: Rechenaufgaben (30 Punkte)

Rechenaufgabe A1: NTC

a) Ein keramischer Heißeiter (NTC) soll zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit von Luft eingesetzt werden. Die Kenndaten sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Zahlenwerte:

Temperaturabhängigkeit des NTC	$R(T)$	=	$A \cdot \exp(B/T)$
Durch Konvektion abgeführte Leistung	P_K	=	$\alpha_L \cdot A_O \cdot (T - T_U)$
Temperatur des NTC in K	T		
Umgebungs- bzw. Lufttemperatur in °C	ϑ_L	=	25 °C
Umgebungs- bzw. Lufttemperatur in K	T_U	=	298,15 K
Gesamte Oberfläche des NTC	A_O	=	0,1 cm ²
Wärmeübergangszahl an Luft	α_L	=	4 mW·cm ⁻² ·K ⁻¹
Thermistor-Konstanten	A	=	0,1 Ω
	B	=	3000 K

Anmerkung: Die drei Aufgabenteile können unabhängig voneinander gelöst werden!

a) Zunächst wird mit dem NTC eine Temperaturmessung vorgenommen. Wie groß darf die maximale Spannung bzw. Strom am NTC sein, damit sich der NTC aufgrund der Eigenerwärmung nicht mehr als 1K gegenüber der gegebenen Umgebungstemperatur $\vartheta_L = 25$ °C erwärmt? (3 Punkte)

Lösung:

$$\text{Abgeführte Leistung an ruhender Luft: } P_K = I^2 R = \frac{U^2}{R} = \alpha_L A_O (T - T_U)$$

$$\text{Mit dem Widerstand des Thermistors: } R_{(T_m)} = A \cdot e^{\frac{B}{T_m}}$$

Folgt die Spannung bzw. Strom am Thermistor:

$$U_{(T)} = \pm \sqrt{R_{(T)} \cdot [\alpha_L \cdot A_O \cdot (T - T_U)]}; \quad I_{(T)} = \pm \sqrt{\frac{[\alpha_L \cdot A_O \cdot (T - T_U)]}{R_{(T)}}}$$

Bei max. Erhöhung von 1 K darf der NTC maximal 26 °C (299,15 K) warm werden →
 $U(299,15 \text{ K}) = 0,952 \text{ V}$, $I(299,15 \text{ K}) = 0,42 \text{ mA}$

$U = 0,952 \text{ V}$	Punkte A1.a
$I = 0,42 \text{ mA}$	

b) Der NTC sei über einen Vorwiderstand an eine Spannungsquelle angeschlossen. Berechnen Sie die Temperatur T_m des NTC, für welche die über dem NTC abfallende Spannung $U=f(T)$ maximal wird und geben Sie den Wert der maximalen Spannung U_m an. (4 Punkte)

Lösung:

Mit $U^2_{(T)} = R_{(T)} \cdot [\alpha_L \cdot A_0 \cdot (T - T_U)] \rightarrow$

$$\frac{d}{dT} U^2_{(T)} = \frac{d}{dT} \left(A \cdot e^{\frac{B}{T}} \cdot [\alpha_L \cdot A_0 \cdot (T - T_U)] \right) = A \cdot \alpha_L \cdot A_0 \cdot e^{\frac{B}{T}} - \frac{A \cdot \alpha_L \cdot A_0 \cdot B \cdot e^{\frac{B}{T}} \cdot (T - T_U)}{T^2} = 0$$

$$T^2 - BT + BT_U = 0 \quad \rightarrow \quad T_m = \frac{B}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 - BT_U} = 335,72 \text{ K} \rightarrow 62,57 \text{ °C}$$

$$U_{m(335,72K)} = 3,38 \text{ V}$$

$$T_m = 335,72 \text{ K bzw. } 62,57 \text{ °C}$$

$$U_m = 3,38 \text{ V}$$

Punkte
A1.b

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

c) Der NTC soll nun zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit v von Luft eingesetzt werden. Die Wärmeübergangszahl α darf als eine Funktion der Strömungsgeschwindigkeit der Form $\alpha_{(v)} = \alpha_L + k_v \sqrt{v}$ angenommen werden. Zur Bestimmung der Gerätekonstante k_v wird der NTC mit einer definierten Luft-Strömungsgeschwindigkeit von $v = 3 \text{ cm/s}$ betrieben. Dabei wird im thermischen Gleichgewicht am NTC eine Spannung von $U = 4,5 \text{ V}$ und ein Strom von $I = 8,8 \text{ mA}$ gemessen. Berechnen Sie die Temperatur T des NTC und die Gerätekonstante k_v . Die Lufttemperatur sei nach wie vor $\vartheta_L = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. **(3 Punkte)**

$$P_K = U \cdot I = (\alpha_L + k_v \sqrt{v}) \cdot A_0 \cdot (T - T_U)$$

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R_{(T)} = I^2 \cdot A \cdot e^{\frac{B}{T}} \rightarrow T = \frac{B}{\ln\left(\frac{U}{I} \cdot \frac{1}{A}\right)} = 351,15 \text{ K} \quad \text{bzw. } 78^\circ\text{C}$$

$$k_v = \left(\frac{U \cdot I}{A_0 \cdot (T - T_U)} - \alpha_L \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{v}} = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Ws}^{\frac{1}{2}}}{\text{K} \cdot \text{cm}^{\frac{3}{2}}}$$

$T = 351,15 \text{ K} \text{ bzw. } 78 \text{ }^\circ\text{C}$ $k_v = 0,002 \frac{\text{W} \sqrt{\text{s}}}{\text{K cm}^{\frac{3}{2}}} = 200 \frac{\text{W} \sqrt{\text{s}}}{\text{K m}^{\frac{3}{2}}}$	Punkte A1.c
--	----------------

Rechenaufgabe A2: Metalle (DMS)

Betrachtet wird ein zylindrischer Draht aus Platin (Pt) mit der Länge l und dem Durchmesser d . Der Draht wird auf der konstanten Temperatur $\Theta_U = 25\text{ °C}$ gehalten und von einem Strom I durchflossen (siehe Bild 1). Die elektrische Leitfähigkeit von Pt beträgt bei Raumtemperatur $\sigma = 9,6 \cdot 10^4\text{ S cm}^{-1}$.

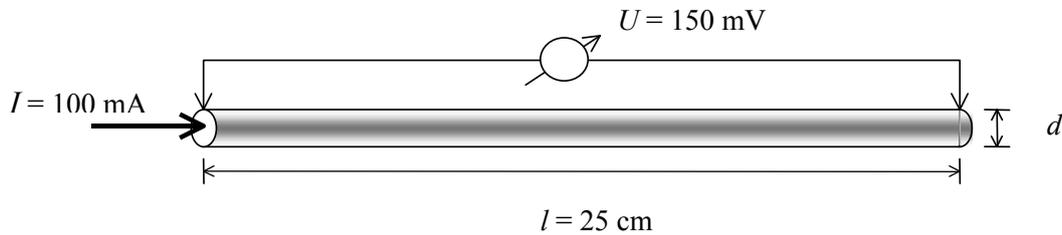


Bild 1: Spannungsabfall über Pt-Drahtstück (Probe)

a) Über die Enden des Drahtes wird die Spannung U gemessen. Berechnen Sie den Durchmesser d des Drahtes. (1 Punkt)

$$\begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{A} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{l}{\frac{\pi}{4} d^2} \\ \Rightarrow d &= \sqrt{\frac{4 \cdot l}{\pi \cdot \sigma \cdot R}} = \sqrt{\frac{4 \cdot l \cdot I}{\pi \cdot \sigma \cdot U}} \\ &= \sqrt{\frac{4 \cdot 0,25\text{ m} \cdot 0,1\text{ A}}{\pi \cdot 9,6 \cdot 10^6\text{ S m}^{-1} \cdot 0,150\text{ V}}} \\ \Rightarrow d &\approx 0,15\text{ mm} \end{aligned}$$

$d =$	Punkte A2.a
-------	-------------

b) Die Konzentration der Elektronen in der Probe beträgt $n = 6,78 \cdot 10^{22}\text{ cm}^{-3}$. Berechnen Sie aus der elektrischen Leitfähigkeit σ und der gemessenen Spannung die Diffusionskonstante D_n der Elektronen bei Raumtemperatur (Θ_U) sowie ihre Driftgeschwindigkeit v_D . (2 Punkte)

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

(1) $\sigma = n \cdot e_0 \cdot \mu_n$

(2) $\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{kT}{e_0}$ (Einstein-Beziehung)

(3) $v_D = \mu_n E = \mu_n \frac{U}{l}$

(1) und (2) \Rightarrow

$$D_n = \frac{kT\sigma}{ne_0^2} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 298 \text{ K} \cdot 9,6 \cdot 10^4 \text{ S cm}^{-1}}{6,78 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3} \cdot (1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As})^2} \approx 0,23 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$$

(3) und (1) \Rightarrow

$$v_D = \frac{\sigma}{ne_0} \cdot \frac{U}{l} \approx \frac{96000 \text{ S cm}^{-1}}{6,78 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}} \cdot \frac{0,150 \text{ V}}{25 \text{ cm}} \approx 0,05 \text{ cm s}^{-1}$$

$D_n =$ $v_D =$	Punkte A2.b
--------------------	-------------

c) Bei zwei sehr tiefen Temperaturen wurde der Widerstand der Pt-Probe gemessen (Bild 2). Berechnen Sie hieraus den Widerstand R für die Temperatur $\theta = -240 \text{ }^\circ\text{C}$. (2 Punkte)

Hinweise: Vernachlässigen Sie dabei thermische Ausdehnungseffekte. Für den spezifischen Widerstand bei sehr tiefen Temperaturen gilt nach Grüneisen: $\rho \propto T^5$. Verwenden Sie einen der beiden folgenden Ansätze für $R(T)$ und begründen Sie Ihre Wahl:

(i) $R = a \cdot T^5$

(ii) $R = b + c \cdot T^5$

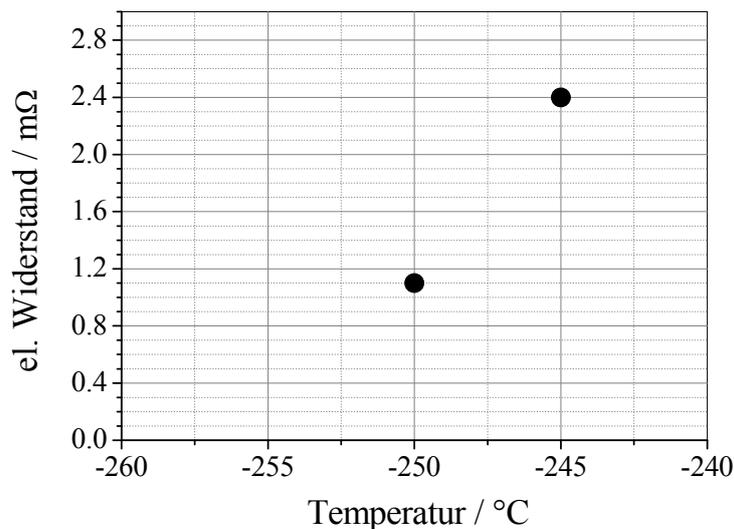


Bild 2: Widerstand des Pt-Drahts bei sehr tiefen Temperaturen

Nach Matthiessenscher Regel: $R = R_0 + c \cdot T^5$

(R_0 ist der T -unabhängige Restwiderstand infolge von Fremdatomen, Gitterdefekten etc.)

Aus Diagramm beide Wertepaare ablesen: $(T_1; R_1) = (23,15 \text{ K}; 1,1 \text{ m}\Omega)$; $(T_2; R_2) = (28,15 \text{ K}, 2,4 \text{ m}\Omega)$

$$(1) R_1 = R_0 + c \cdot T_1^5$$

$$(2) R_2 = R_0 + c \cdot T_2^5$$

$$(1) - (2) \Rightarrow c = \frac{R_1 - R_2}{T_1^5 - T_2^5} \approx 1,18 \cdot 10^{-7} \text{ m}\Omega/\text{K}$$

$$(1) + (2) \Rightarrow R_0 = \frac{R_1 + R_2 - c(T_1^5 + T_2^5)}{2} \approx 0,31 \text{ m}\Omega$$

Damit ergibt sich für $T = 33,15 \text{ K}$:

$$R_{T=33,15 \text{ K}} = R_0 + c \cdot T^5 \approx 5,0 \text{ m}\Omega$$

$R(\theta = -240 \text{ }^\circ\text{C}) =$	Punkte A2.c
---	-------------

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

d) Der Messstrom I in Bild 1 wird nun auf 1300 mA erhöht. Der Pt-Draht erwärmt sich dabei auf eine Oberflächentemperatur von $\theta_0 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Die Umgebungstemperatur bleibt konstant bei $\theta_U = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Für die Temperaturerhöhung gilt $\Delta T = \theta_0 - \theta_U$. Berechnen Sie hieraus den linearen Temperaturkoeffizienten $\alpha_\rho = (1/\rho) \cdot (\Delta\rho/\Delta T)$ des spezifischen Widerstands ρ von Platin zwischen $25 \text{ }^\circ\text{C}$ und $200 \text{ }^\circ\text{C}$. **(3 Punkte)**

Hinweis: Die von dem Draht über die Oberfläche A_0 durch Konvektion abgeführte Wärmeleistung berechnet sich gemäß $P_K = s_W \sqrt{l} \sqrt{A_0} \Delta T^{5/4}$ mit $s_W = 1,23 \text{ W} \cdot \text{K}^{-5/4} \cdot \text{m}^{-3/2}$.

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

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

$$\Rightarrow \alpha_\rho = \frac{1}{\Delta T} \cdot \left(\frac{s_W \sqrt{l} \sqrt{A_0} \cdot \Delta T^{5/4}}{I^2 \cdot R_{25 \text{ }^\circ\text{C}}} - 1 \right) = \frac{1}{\Delta T} \cdot \left(\frac{s_W \sqrt{l} \sqrt{\pi \cdot d \cdot l} \cdot \Delta T^{5/4}}{I^2 \cdot (U/I)_{25 \text{ }^\circ\text{C}}} - 1 \right)$$

$$= \frac{1}{175 \text{ K}} \cdot \left(\frac{1,23 \text{ W} \cdot \text{K}^{-5/4} \cdot \text{m}^{-3/2} \cdot \sqrt{0,25 \text{ m}} \sqrt{\pi \cdot 0,00015 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ m}} \cdot (175 \text{ K})^{5/4}}{(1,3 \text{ A})^2 \cdot (150 \text{ mV}/100 \text{ mA})} - 1 \right)$$

$$\approx 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

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

$\alpha_\rho =$	Punkte A2.d
-----------------	-------------

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

e) Der Pt-Draht wird nun bei 25 °C um 3 % längs gedehnt. Die Dehnung $\varepsilon_M = \frac{\Delta l}{l}$ wird über den Widerstand des Drahtes gemessen. Um wieviel Kelvin darf der Draht durch den Messstrom maximal erwärmt werden, damit der durch die Eigenerwärmung des Drahtes resultierende Messfehler unterhalb von 15 % bleibt? **(2 Punkte)**

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

$$\varepsilon_M = \frac{\Delta l}{l} = 0,03$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta R_{\text{Dehnung}}}{R} \stackrel{\text{(Formelsammlung)}}{=} k \cdot \varepsilon_M = 2,16 \cdot \frac{\Delta l}{l} = 0,0648$$

Es soll nun gelten:

$$\frac{\Delta R_{\text{Erwärmung}}}{R} \stackrel{!}{\leq} 0,15 \cdot \frac{\Delta R_{\text{Dehnung}}}{R}$$

$$\Rightarrow \alpha_\rho \cdot \Delta T \stackrel{!}{\leq} 0,15 \cdot 0,0648$$

$$\Rightarrow \Delta T \stackrel{!}{\leq} 0,00972 \cdot \frac{1}{\alpha_\rho} = 0,00972 \cdot \frac{1}{3,9 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}} = 2,5 \text{ K}$$

$\Delta T =$	Punkte A2.e
--------------	-------------

Rechenaufgabe A3: Dielektrika

Ein Typ 2 Keramikkondensator aus polykristallinem Bariumtitanat lässt sich durch ein Ersatzschaltbild nach Bild 1 beschreiben. Der Kondensator besteht aus einem zylinderförmigen Dielektrikum, auf dem zwei Elektroden (oben und unten) mit der Fläche $A = 125 \text{ mm}^2$ aufgebracht sind. Die Dicke des Dielektrikums beträgt $d = 500 \text{ }\mu\text{m}$.

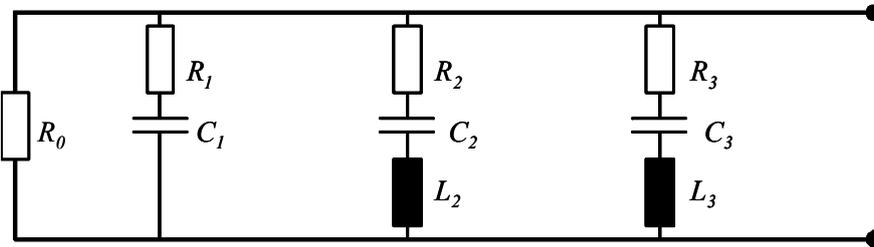
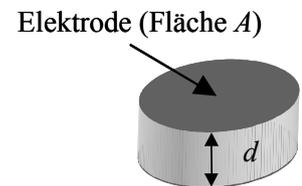


Bild 1



a) Welche der Ersatzschaltbildelemente sind oberhalb des Curie-Punktes (Temperaturen $T > T_C$) bestimmt? Begründen Sie Ihre Auswahl. Geben Sie die Werte dieser Elemente an. (2 Punkte)

kubische Phase \rightarrow keine permanenten Dipole \rightarrow keine Orientierungspolarisation \rightarrow ESB-Elemente für den Relaxationsprozess entfallen
 Relaxation wird im ESB durch die Serienschaltung einer Kapazität mit einem die Verluste repräsentierenden Widerstand abgebildet.
 R_1 und C_1 entfallen daher $R_1 = 0$ und $C_1 = 0$

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

b) Das Dielektrikum wird im Folgenden bei einer Frequenz von 1 kHz bei Raumtemperatur betrieben. Welche der Ersatzschaltbildelemente können bei dieser Frequenz vernachlässigt werden? Begründen Sie Ihre Antwort.

Zeichnen Sie ein für diese Frequenz gültiges, möglichst einfaches Ersatzschaltbild. (3 Punkte)

Ionen- und die Elektronenpolarisation gehen erst bei Frequenzen $> 10^{11} \text{ Hz}$ in die Resonanz:

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

→ Effekte, die durch die Ersatzschaltbildelemente R_2 , R_3 , L_2 und L_3 beschrieben werden, sind vernachlässigbar

→ $R_2 = R_3 = 0$

→ $L_2 = L_3 = 0$

→ C_2 und C_3 bleiben erhalten

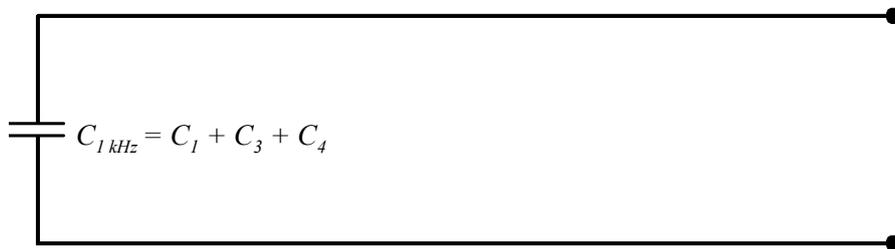
Orientierungspolarisation tritt bei Raumtemperatur auf, ihre Relaxationsfrequenz ω_0 liegt im Mikrowellenbereich:

→ $R_1 = 0$ (relaxationsbedingte Verluste können bei 1 kHz vernachlässigt werden)

→ C_1 bleibt erhalten

Bariumtitanat besitzt eine sehr niedrige elektrische Leitfähigkeit

→ $R_0 = \infty$ Verluste durch Leckströme können bei 1 kHz vernachlässigt werden.



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

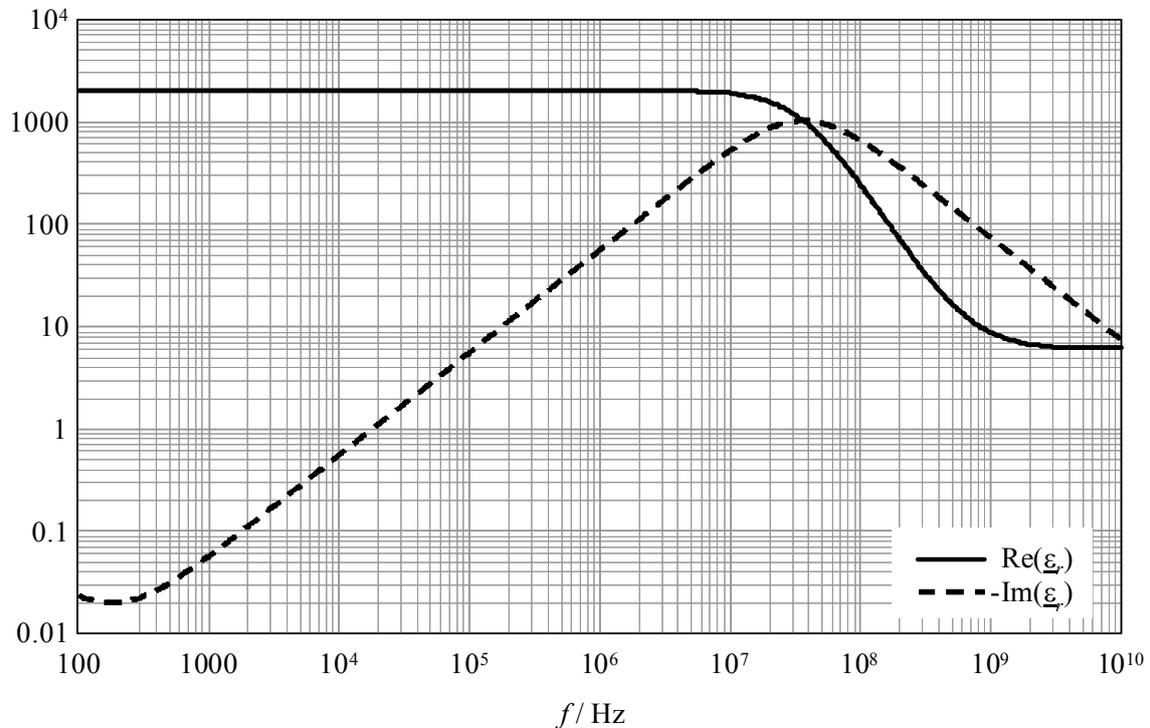


Bild 2

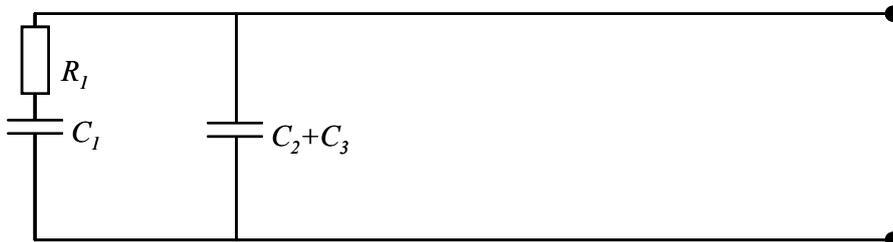
c) Geben Sie ein geeignetes Ersatzschaltbild an, welches den Kondensator (inkl. Verluste) im Frequenzbereich 1 kHz bis 10 MHz beschreibt und berechnen Sie die Elemente des Ersatzschaltbildes. (5 Punkte)

In dem betrachteten Frequenzbereich dominiert die Orientierungspolarisation Kapazität und Verluste:

$$C_1 \gg C_2 + C_3$$

$$R_0 \gg$$

ESB:



aus Diagramm ablesen:

$$\operatorname{Re}(\epsilon_r(100 \text{ kHz})) = 2000$$

$$\operatorname{Im}(\epsilon_r(100 \text{ kHz})) = -5.56$$

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

$$\underline{Z} = R_1 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1} = \frac{1}{j \cdot \omega \cdot \underline{C}}$$

$$\underline{C} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{A}{d}$$

$$\underline{Z} = \frac{d}{j \cdot \omega \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A} = \frac{d}{j \cdot \omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A} \cdot \frac{1}{\varepsilon_r' + j\varepsilon_r''} = \frac{d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A} \cdot \frac{1}{j\varepsilon_r' - \varepsilon_r''} =$$

$$= \frac{d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A} \cdot \frac{-1}{\varepsilon_r'' - j\varepsilon_r'} = \frac{-d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A} \cdot \frac{\varepsilon_r'' + j\varepsilon_r'}{\varepsilon_r''^2 + \varepsilon_r'^2}$$

$$R_1 = \operatorname{Re}(\underline{Z}) = \frac{-d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A} \cdot \frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r''^2 + \varepsilon_r'^2} = 1 \Omega$$

$$\frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_1} = \operatorname{Im}(\underline{Z}) = \frac{-d}{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A} \cdot \frac{j\varepsilon_r'}{\varepsilon_r''^2 + \varepsilon_r'^2}$$

$$C_1 = \frac{1}{j \cdot \omega} \cdot \frac{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A}{-d} \cdot \frac{\varepsilon_r''^2 + \varepsilon_r'^2}{j\varepsilon_r'} = \frac{\omega \cdot \varepsilon_0 \cdot A \cdot (\varepsilon_r''^2 + \varepsilon_r'^2)}{d \cdot \varepsilon_r'} = 4.44 \text{ nF}$$