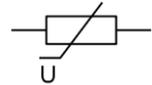


Saalübung	Fr, 19.12.2014, 09:45 –11:15 Uhr
Themengebiete	Varistor, NTC, PTC
Übungsleiter	Dipl.-Ing. Michael Schönleber Dipl.-Phys. Julian Szasz

Die Aufgaben auf diesem Übungsblatt entstammen teilweise alten Klausuren. Zu Ihrer Orientierung ist die originale Punktverteilung dann jeweils mitaufgeführt. Die maximal erreichbare Punktzahl in der Klausur beträgt 60 Punkte.

A1: Varistor

Ein Varistor (variable resistor) hat im Vergleich zu einem Thermistor (PTC/NTC) eine vernachlässigbare Temperaturabhängigkeit des Widerstands. Eingesetzt wird er zum Beispiel als Überspannungsschutz, da erst ab einer bestimmten Spannung (U_K) seinen Widerstand verringert und elektrisch gut leitend wird. Diese Eigenschaften sind maßgeblich durch Sperrschichten an den Korngrenzen verursacht, welche entsprechend im Herstellungsprozess beeinflusst werden können.



a) Gegeben ist die Strom-Spannungskennlinie eines ZnO-Varistors (Bild 1). Welchen Bereich der Kennlinie beschreibt die Varistorgleichung aus der Formelsammlung? Tragen Sie den Gültigkeitsbereich in das Diagramm ein. (1 Punkt)

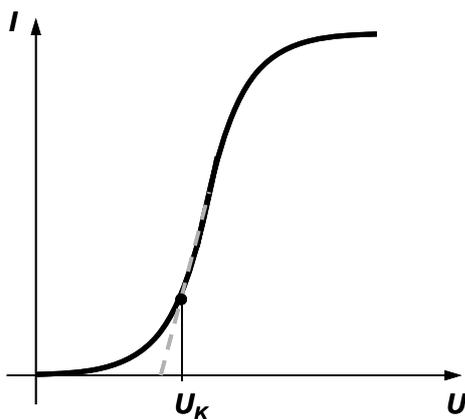


Bild 1: ZnO-Varistorkennlinie.

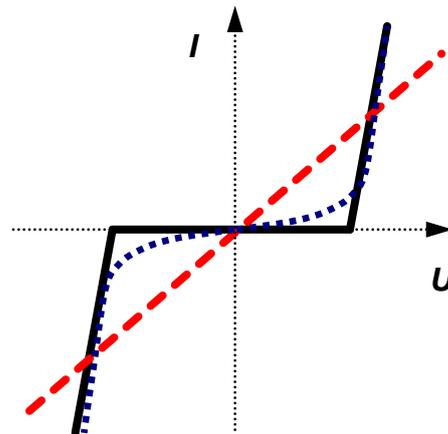


Bild 2: Verschiedene ZnO-Varistorkennlinien.

b) Geben Sie eine physikalisch sinnvolle Erklärung für den Verlauf der Kennlinie außerhalb des Gültigkeitsbereichs der Varistorgleichung an. Machen Sie sich dazu bewusst, welcher Mechanismus bei Varistoren für das typische Verhalten verantwortlich ist. (1 Punkt)

c) Sie wollen einen Varistor als Überspannungsschutz für einen Verbraucher installieren und es liegen Ihnen drei Varistorkennlinien vor (rot, blau und schwarz in Bild 2). Ordnen Sie die Werte für den Nichtlinearitätskoeffizient $\alpha = 100$, 3 und 1 den Kennlinien zu. Welcher Varistor ist geeignet, um Ihren Verbraucher bis hin zu hohen Spannungen abzusichern?

Hinweis: Für ein besseres Verständnis von α überlegen Sie sich, was für ein Widerstandsverhalten die rote Kennlinie aufweist und wie die Relation zwischen Spannung und Strom hier ist!

d) Stellen Sie die Elektroneutralitätsbedingung für niedrige Temperaturen in einem ZnO-Varistor auf. Zeichnen Sie qualitativ die Verteilung der Zinkleerstellenkonzentration $[V_{Zn}^{\prime\prime}]$ und der Elektronenkonzentration n über das gesamte ZnO-Korn in Bild 3 ein.

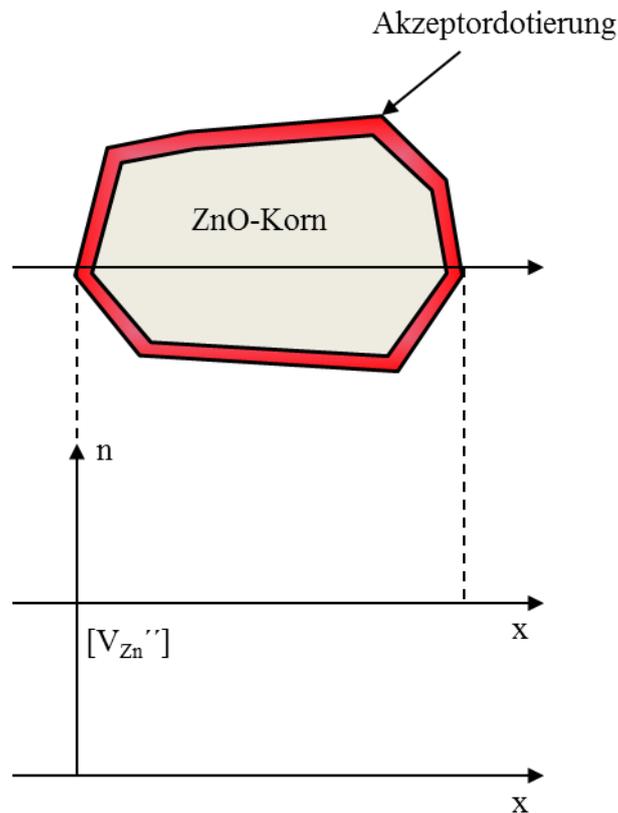
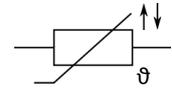


Bild 3: Verteilung der Zinkleerstellen- und Elektronenkonzentration in einem ZnO-Korn.

e) Geben Sie nun zwei Maßnahmen an, die zu einer Erhöhung der Durchbruchspannung U_K bei ZnO-Varistoren führen. (1 Punkt)

A2: Heißeleiter NTC

Heißeleiter (NTC) werden als Sensoren für verschiedenste Anwendungen eingesetzt, beispielsweise als Temperaturfühler. Die Eigenschaften des NTCs können beim Herstellungsprozess in Form von Mischungsverhältnissen von den verwendeten Oxiden, Dotierung und Umgebungsbedingungen beim Sintern (reduzierende Atmosphäre um Sauerstoffleerstellen zu generieren) bzw. dem Abkühlvorgang produktspezifisch angepasst werden.



a) Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstands R von der Temperatur T_{Th} (in $^{\circ}\text{C}$) ist im folgenden Diagramm (Bild 4) für einen solchen Heißeleiter gezeigt. Bestimmen Sie die Aktivierungsenergie E_A und den Koeffizienten A zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit von R gemäß der Beziehung $R(T_{Th}) = A \cdot \exp(E_A / (k_B \cdot T_{Th}))$. (3 Punkte)

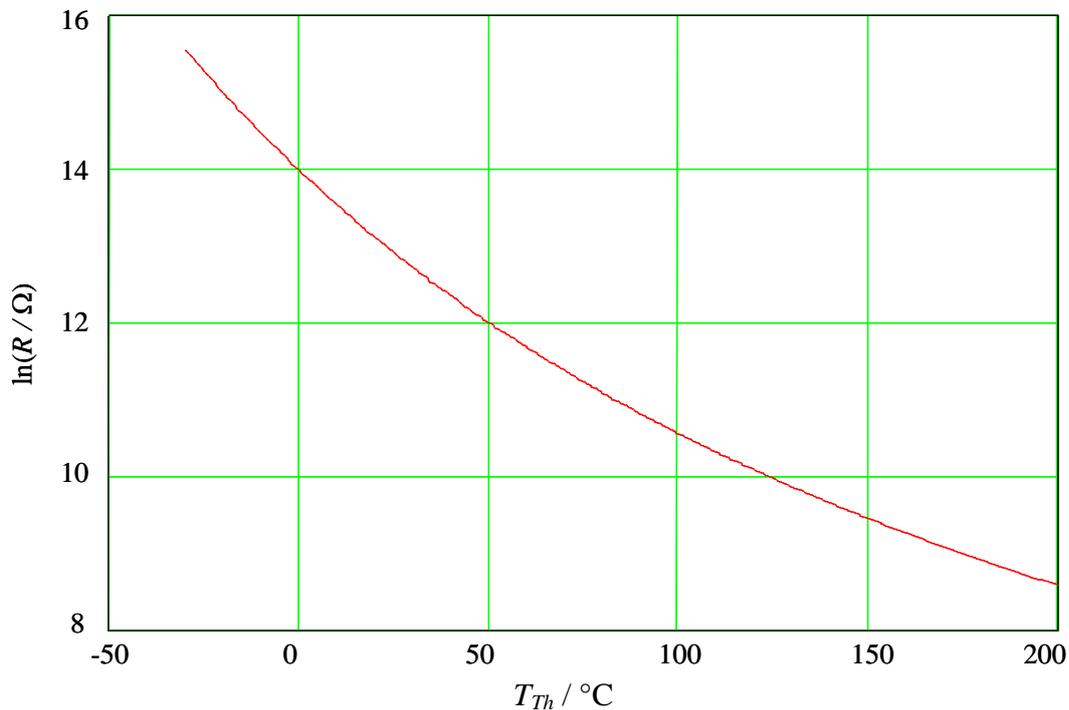


Bild 4: Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands R

b) Ein solcher Thermistor soll nun mit den unten angegebenen Kenndaten zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit v von Luft eingesetzt werden. In dem folgenden Diagramm (Bild 5) sind UI-Kennlinien für drei Strömungsgeschwindigkeiten v_1 , v_2 und v_3 gegeben. Berechnen Sie mit Hilfe der Kennlinien die Strömungsgeschwindigkeit v_3 .

Hinweis: Die Leistung, die durch die Anströmung abgeführt wird, kann beschrieben werden durch

$$P_K = \alpha \cdot A_0 \cdot (T_{Th} - T_0).$$

Die Wärmeübergangszahl α ist eine Funktion der Strömungsgeschwindigkeit: $\alpha = \alpha_L + k_v \cdot \sqrt{v}$. Berechnen Sie zunächst die Koeffizienten α_L und k_v . Überlegen Sie sich dazu die Zuordnung von v_1 , v_2 und v_3 zu den Kennlinien - welches NTC wird am stärksten gekühlt? (4 Punkte)

Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstands	$R(T_{Th}) = A \cdot \exp(B/T_{Th})$
Thermistoroberfläche	$A_0 = 0,5 \text{ cm}^2$
Strömungsgeschwindigkeiten	$v_1 = 0 \text{ cm/s}$
	$v_2 = 21 \text{ cm/s}$
	$v_3 > v_2$
Umgebungstemperatur	$T_0 = 22 \text{ °C}$
Thermistorkonstanten	$A = 0,015 \text{ } \Omega$
	$B = 3800 \text{ K}$

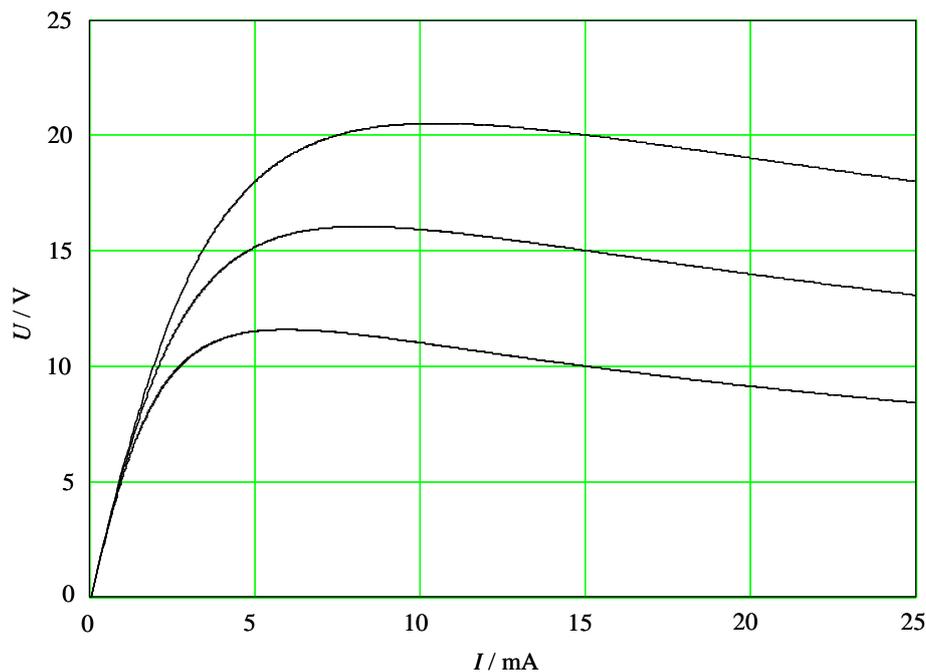


Bild 5: UI-Kennlinie eines Thermistors bei verschiedenen Anströmgeschwindigkeiten v_i .

A3: Kaltleiter PTC

Farbfernseh-Bildröhren enthalten magnetisierbare Teile. Daher wird bei jedem Einschalten eine Entmagnetisierung durchgeführt. Diese erfolgt im Prinzip mit einer Schaltung nach Bild 6 (links), bei der eine um die Bildröhre geschlungene Entmagnetisierungsspule aus Kupferdraht und zwei Kaltleiter-Widerstände (PTCs) eingesetzt werden. Bild 6 (rechts) zeigt die R-T-Kennlinie der beiden Kaltleiter.

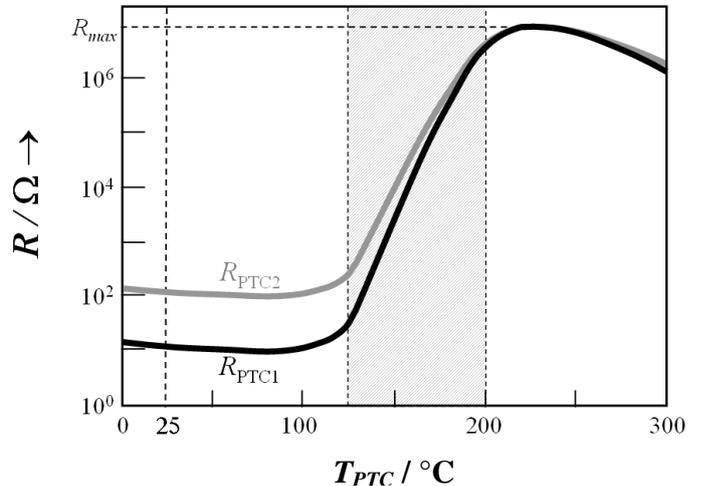
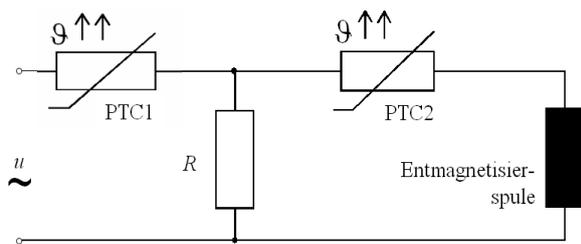
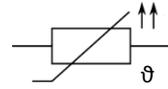


Bild 6: (links) Schaltbild zur Entmagnetisierung einer TV-Bildröhre. (rechts) Widerstandsverlauf der verbauten PTC Elemente (PTC1, PTC2).

a) Berechnen Sie die Amplitude \hat{i}_A des durch PTC1 fließenden Stroms unmittelbar nach Anlegen der Spannung u . (3 Punkte)

Hinweise: Die induktiven Eigenschaften der Spule sollen vernachlässigt werden, berücksichtigen Sie nur deren Ohmschen Widerstand. Für die angelegte Spannung gilt: $u = \hat{u} \cdot \sin(\omega t)$.

Zahlenwerte:	Amplitude der Spannung	$\hat{u} = 50 \text{ V}$
	Widerstand	$R = 500 \text{ } \Omega$
	Windungszahl der Spule	$n = 20$
	Länge der Spule	$l = 10 \text{ mm}$
	Durchmesser der zylinderförmigen Spule	$d = 300 \text{ mm}$
	Durchmesser des Spulendrahtes	$\delta = 1 \text{ mm}$
	el. Leitfähigkeit von Kupfer	$\sigma_{Cu} = 6 \cdot 10^5 \text{ S/m}$

b) Schätzen Sie anhand der Kaltleiterkennlinien in Bild 6 einen Endwert für \hat{i}_E ab, wenn die beiden (thermisch gekoppelten) Kaltleiter PTC1 und PTC2 sich auf 200 °C erwärmt haben. (2 Punkte)