

Wissenswertes über PTC-Thermistoren (Kaltleiter)

Dipl.-Ing. Frank Roscher



Widerstände, deren Wert sich mit der Temperatur stark ändert, werden Thermistoren genannt. Hierbei gibt es 2 Grundtypen mit völlig unterschiedlichen Eigenschaften: NTC- und PTC-Thermistoren.

Der vorliegende Beitrag befaßt sich mit den PTC-Thermistoren. Es wurde das Wesentliche für die Amateurpraxis zusammengestellt.

PTC ist eine Abkürzung

PTC ist die Abkürzung des englischen Ausdrucks «Positive Temperature Coefficient», d. h., es handelt sich um einen (Halbleiter-) Widerstand mit positivem Temperaturkoeffizienten des Widerstandswerts. Ein *PTC-Thermistor*, den man auch als *PTC-Widerstand* oder *Kaltleiter* bezeichnet, leitet im kalten Zustand demgemäß besonders gut. Anders gesagt: Der Widerstandswert nimmt mit steigender Temperatur zu. Somit zeigt dieser Halbleiterwiderstand das umgekehrte Verhalten eines Heißleiters.

Die Beeinflussbarkeit des Widerstandswerts durch die Temperatur wird im Schaltsymbol entsprechend angegeben. Bild 1 veranschaulicht 3 unterschiedliche Symbole. Links ist das für die DDR standardisierte Schaltzeichen dargestellt, daneben 2 Symbole, die in der internationalen Fachliteratur anzutreffen sind.

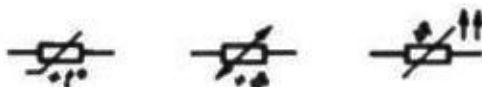


Bild 1
Schaltzeichen für PTC-Thermistoren

Wichtige Kenngrößen

Zur Erläuterung der Kennwerte und einiger anderer Eigenschaften benutzt man die Widerstands-Temperatur-Kennlinie entsprechend Bild 2. Mit charakteristischen Kennlinienpunkten werden die Kaltleiter gekennzeichnet. Beim Studium der internationalen Fachliteratur stößt man hier und da auf etwas andere Auslegungen. Auch die Temperatur muß nach SI-Festlegung

gen mit T angegeben werden, dennoch ist das ν durchaus noch üblich. Im Zusammenhang mit Kaltleitern werden nachstehend aufgeführte Begriffe verwendet.

Anfangstemperatur T_A

Das ist der Temperaturwert, bei dem der α_R -Wert beginnt, positiv zu werden.

Anfangswiderstand R_A

Widerstandswert bei Anfangstemperatur. Bei diesem Wert beginnt der Widerstand mit steigender Temperatur zuzunehmen. Wie aus Bild 2 ersichtlich, kann man ihn auch als *Minimalwiderstand* bezeichnen.

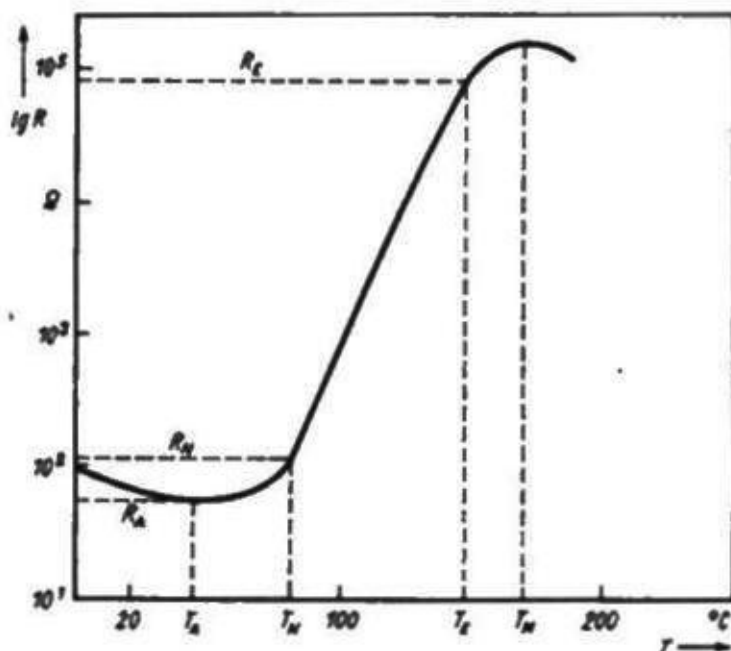


Bild 2 Widerstandsverlauf eines Kaltleiters in Abhängigkeit von der Temperatur

Nenntemperatur T_N

Das ist die Temperatur, bei der der Widerstandswert des Kaltleiters auf das Doppelte seines Anfangswerts angestiegen ist. Hier beginnt der steile Widerstandsanstieg. Demgemäß wird sie auch als *Umschlag-, Ansprech- oder Sprungtemperatur* bezeichnet.

Nennwiderstand R_N

Widerstandswert bei Nenntemperatur.

Endtemperatur T_E

Temperaturwert, bei dem der steile Widerstandsanstieg endet.

Endwiderstand R_E

Es ist der höchste ausnutzbare Widerstand, bei der dazu gehörenden Endtemperatur T_E . Er wird auch *Warmwiderstand* genannt.

Kaltwiderstand R_{20}

Widerstandswert des Kaltleiters bei 20°C. International wird in Datenlisten vielfach auch R_{25} angeführt. Neben Kaltwiderstand ist auch die Bezeichnung *Nennwiderstand* vorzufinden.

Maximaltemperatur T_N

Es handelt sich um einen Grenzwert, der die höchstzulässige Temperaturbelastung eines Kaltleiters kennzeichnet.

Maximale Gleichspannung U_{max}

Das ist die höchstzulässige Betriebsgleichspannung bei 20°C Umgebungstemperatur.

Schaltgrenztemperatur T_G

Temperaturwert, bei dem der Widerstandswert eines Kaltleiterfühlers gleich oder größer als 900 Ω ist.

Untere Schaltgrenztemperatur T_{UG}

Das ist die Temperatur, bei der der Widerstandswert eines Kaltleiterfühlers kleiner als oder gleich 300 Ω ist.

Temperaturbeiwert α_R

Temperaturbeiwert α_R im steilsten Bereich der R - T -Kennlinie. Die Größe des Temperaturbeiwerts hängt sowohl vom verwendeten Werkstoff als auch von der Temperatur des Kaltleiters ab. Von 20°C bis zur Anfangstemperatur T_A ist der Temperaturbeiwert negativ. Ab T_A hat er einen positiven Wert, der im Bereich zwischen den Temperaturen T_N und T_E am größten ist. Er wird aus der R - T -Kennlinie grafisch ermittelt, indem am geradlinigen Kennlinienteil 2 Temperaturwerte T_1 (niedrigere) und T_2 (höhere) festgelegt werden. Dann gilt:

$$\alpha_R = \frac{\ln R_2 - \ln R_1}{T_2 - T_1}$$

Kennlinie – ein kurzer Überblick

Eine wichtige Kennlinie, der Widerstandsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatur, wurde in Bild 2 bereits vorgestellt. Daraus ist zu erkennen:

Wird, bei 20°C beginnend, die Temperatur erhöht, sinkt der Widerstandswert des Kaltleiters zunächst ein wenig ab. Die Widerstandszunahme beginnt bei der Anfangstemperatur T_A . Der weitere Widerstandsverlauf ist bis zur Nenntemperatur T_N noch stark nichtlinear. Erst ab T_N bis zur Endtemperatur T_E ist die Widerstandscharakteristik annähernd linear. Das kennzeichnet den eigentlichen Arbeitsbereich eines Kaltleiters. Innerhalb dieses Kennlinienabschnitts steigt der Widerstandswert je 10 K erheblich an. Nachteilig ist aber, daß diese hohen Werte nur in einem relativ engen Temperaturbereich verfügbar sind. Somit zeichnet sich der Kaltleiter im Vergleich zum Heißeiter durch einen großen α_R -Wert aus (hohe Temperaturempfindlichkeit im vorgenannten Bereich).

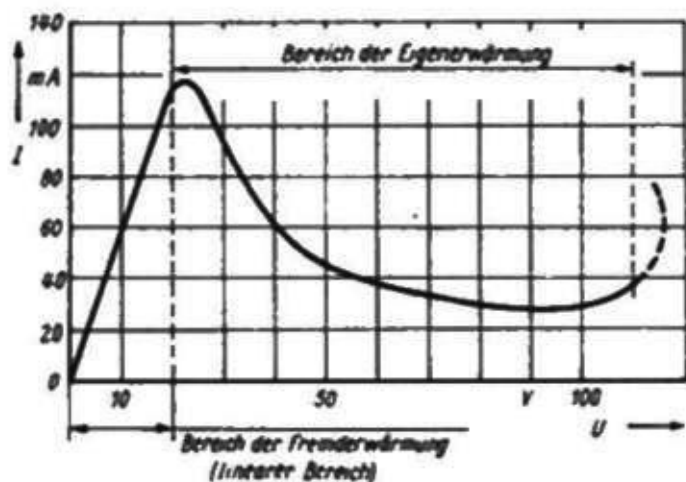


Bild 3
Typische Strom-Spannungs-Kennlinie des Kaltleiters

Eine zweite wichtige Kennlinie ist die stationäre Strom-Spannungs-Charakteristik, wie sie Bild 3 zeigt. Bei geringen Spannungen am Kaltleiter – man rechnet allgemein unter 2 V – steigt der Strom fast verhältnismäßig an, und er verhält sich somit nahezu wie ein ohmscher Widerstand. Dieses Kennlinienstück wird demgemäß als *linearer Bereich* bzw. als *Bereich der Fremderwärmung* bezeichnet. Daher muß man diese Kennlinie bei sehr langsamer Spannungserhöhung und kleinem Meßstrom aufnehmen, um eine Eigenerwärmung des Bauelements zu vermeiden. Bei einem bestimmten Grenzwert des Stroms bewirkt eine weitere Spannungserhöhung eine Stromabnahme. Man spricht vom *Bereich der Eigenerwärmung*, denn nun fließt ein Strom, der den Kaltleiter merklich erwärmt.

Außerdem ist der Widerstandswert des Kaltleiters nicht nur temperatur-, sondern bei höheren Spannungen auch spannungsabhängig. Zu beachten ist der «Varistoreffekt», unter dem man die Abhängigkeit des Widerstands

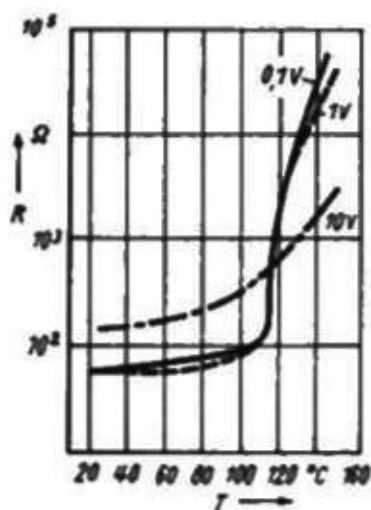


Bild 4
Einfluß der Meßspannung auf die R-T-Kennlinie

von Feldstärken versteht; es bilden sich Sperrschichten. Diese sind besonders im hochohmigen Zustand ausgeprägt.

Bei sehr hohen Spannungen werden auch die α_R -Werte negativ. Das kann zum Durchschlag und somit zur Zerstörung des Bauelements führen. Man beachte daher die Kenngröße *höchstzulässige Betriebsgleichspannung*. Sie wird vom Hersteller in den Datenlisten angegeben.

Abschließend zu einer dritten Kennlinie. Die Widerstandskennlinien gelten für Meßspannungen $U \leq 1,5 \text{ V}$ sowie geringe Meßströme, um Einflüsse von Eigenerwärmung und Varistoreffekt gering zu halten. Man kann in etwa davon ausgehen, daß die Eigenerwärmung dann vernachlässigbar ist, wenn die Spannung am Kaltleiter 2 V nicht überschreitet. Bild 4 veranschaulicht den Einfluß der Meßspannung auf die R - T -Kennlinie. Eine Spannung von beispielsweise 10 V führt zur merklichen Kennlinienverflachung.

Schließlich sei noch erwähnt, daß Kaltleiter auf Grund der Sperrschichten im Material kapazitives Verhalten zeigen. Das bedeutet, daß der Kaltleiterwiderstand mit steigender Frequenz abnimmt. Bild 5 zeigt beispielsweise die Abhängigkeit des Kaltleiterwiderstands von der Temperatur bei 4 unterschiedlichen Frequenzen als Parameter.

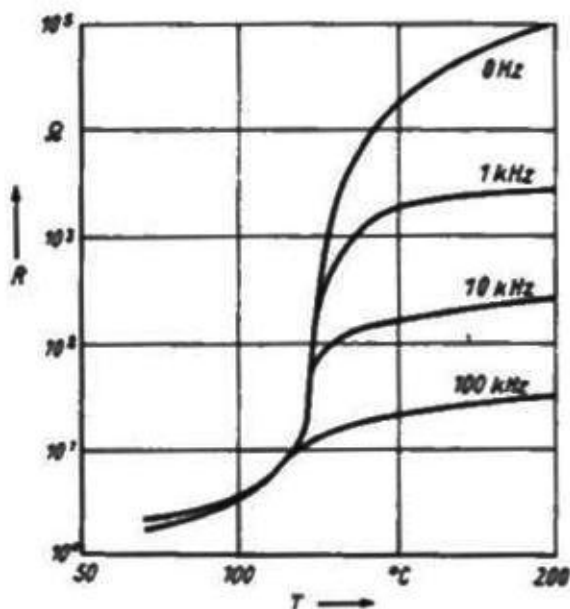


Bild 5
Kaltleiterwiderstand in Abhängigkeit von der Temperatur und der Frequenz als Parameter

Typenangebot der DDR-Elektronikindustrie

Kaltleiter werden vor allem aus Bariumtitanatpulver mit Zusätzen von Metalloxid gesintert. Es entstehen halbleitende Bauelemente, wobei meist die Scheibenform bevorzugt wird. Je nach Art und Menge bestimmter Zusätze zum Bariumtitanat ist der Hersteller in der Lage, Kaltleiter mit unterschied-

lichen Nennwiderstandswerten, Nenntemperaturen und Steilheiten der Widerstandskurven zu produzieren.

Das Kombinat VEB *Keramische Werke Hermsdorf* (KWH) fertigt Kaltleiter in Scheiben- und Fühlerform. Die Bauelemente werden nach folgendem Kurzzeichenschlüssel gekennzeichnet:

Beispiele

TP 60/50-4

- T - Thermistor
- P - positiver TK
- 60 - Kaltwiderstand in Ω
- 50 - Nenntemperatur in $^{\circ}\text{C}$
- 4 - Scheibendurchmesser in mm

TPM 170

- T - Thermistor
- P - positiver TK
- M - in Fühlerform
- 170 - obere Schaltgrenztemperatur in $^{\circ}\text{C}$

Bild 6 enthält die unterschiedlichen Bauformen. Die wesentlichen Kennwerte sind in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefaßt. Weitere elektrische Informationsdaten findet der Leser in Tabelle 3.

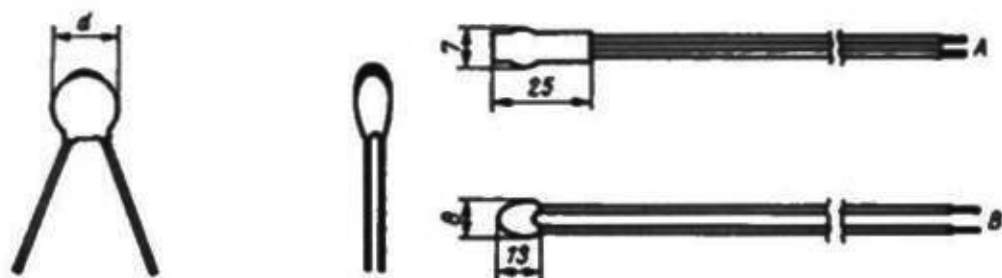


Bild 6 Bauformen der vom Kombinat VEB *Keramische Werke Hermsdorf* gefertigten PTC-Thermistoren

Tabelle 1 Scheibenförmige Kaltleiter, Typenreihe TP

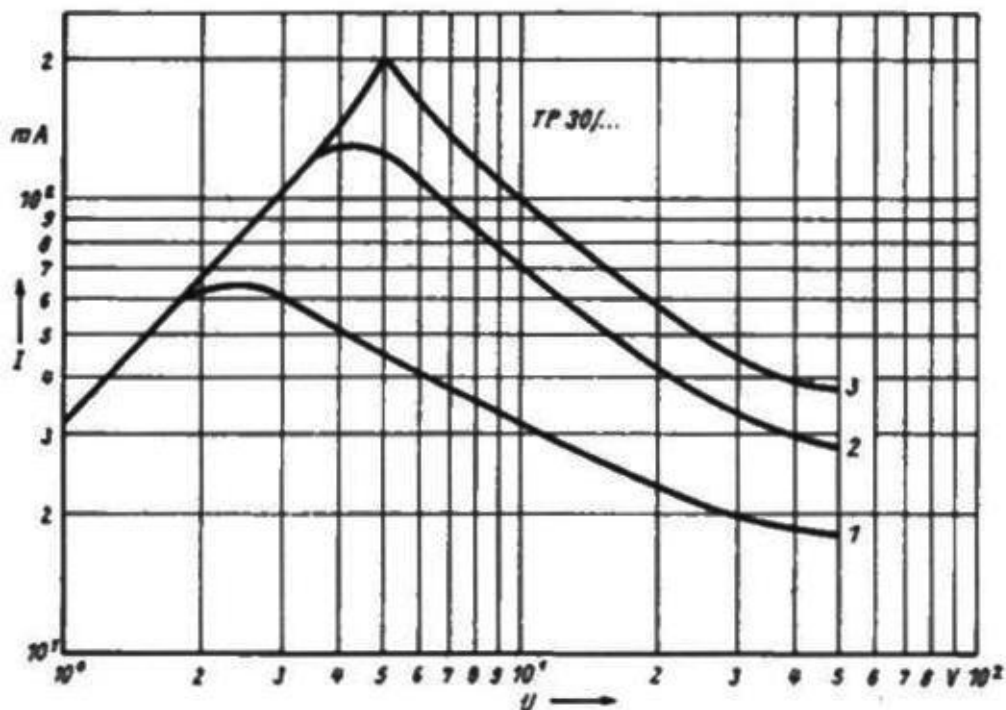
Typ	R_{20} in Ω	T_N in $^{\circ}\text{C}$	T_M in $^{\circ}\text{C}$	U_{max} in V	Kenn- farbe	Kenn- linien-Nr.
TP 30/50-10	30	50	130	50	Gelb	1
TP 30/90-10		90	150		Orange	2
TP 30/120-10		120	190		Rot	3
TP 40/50-7	40	50	130	40	Gelb	1
TP 40/70-7		70	150		Braun	2
TP 40/90-7		90	170		Orange	3
TP 40/120-7		120	190		Rot	4
TP 60/50-4	60	50	130	30	Gelb	1
TP 60/70-4		70	150		Braun	2
TP 60/90-4		90	170		Orange	3
TP 60/120-4		120	190		Rot	4

Tabelle 2 Kaltleiter in Fühlerform, Typenreihe TPM

Typ	Schaltgrenztemperatur in °C		Kenn- farben	Bau- form	Kenn- linien-Nr.
	untere	obere			
TPM 90	80	90	Grün Grün	A	1
TPM 100	90	100	Rot Rot		2
TPM 110	105	110	Braun Braun		3
TPM 115	110	115	Gelb Gelb		4
TPM 120	115	120	Grau Grau		5
TPM 130	120	130	Blau Blau		6
TPM 140	130	140	Weiß Rot		7
TPM 150	140	150	Weiß Blau		8
TPM 170	160	170	Weiß Grün	B	9

Tabelle 3 Elektrische Informationsdaten der Kaltleiter-Typenreihen TP bzw. TPM

Kenngröße	TP	TPM
Nennwiderstand R_N in Ω	s. Tabelle 1	60
Zulässige Abweichung vom Nennwiderstand in %	± 50	± 50
Durchschlagsspannung in kV	-	$\approx 2,32$


Bild 7 I-U-Kennlinien der Typen TP 30/...

Da für Kaltleiter bzw. deren Kennlinien keine praktischen mathematischen Beziehungen vorliegen, entwirft man Schaltungen vorwiegend mit der grafischen Kennlinienauswertung. Um dem Rechnung zu tragen, werden in Bild 7 bis Bild 13 Kennlinien der vom Kombinat VEB *Keramische Werke Hermsdorf* (KWH) gefertigten Kaltleiter angegeben.

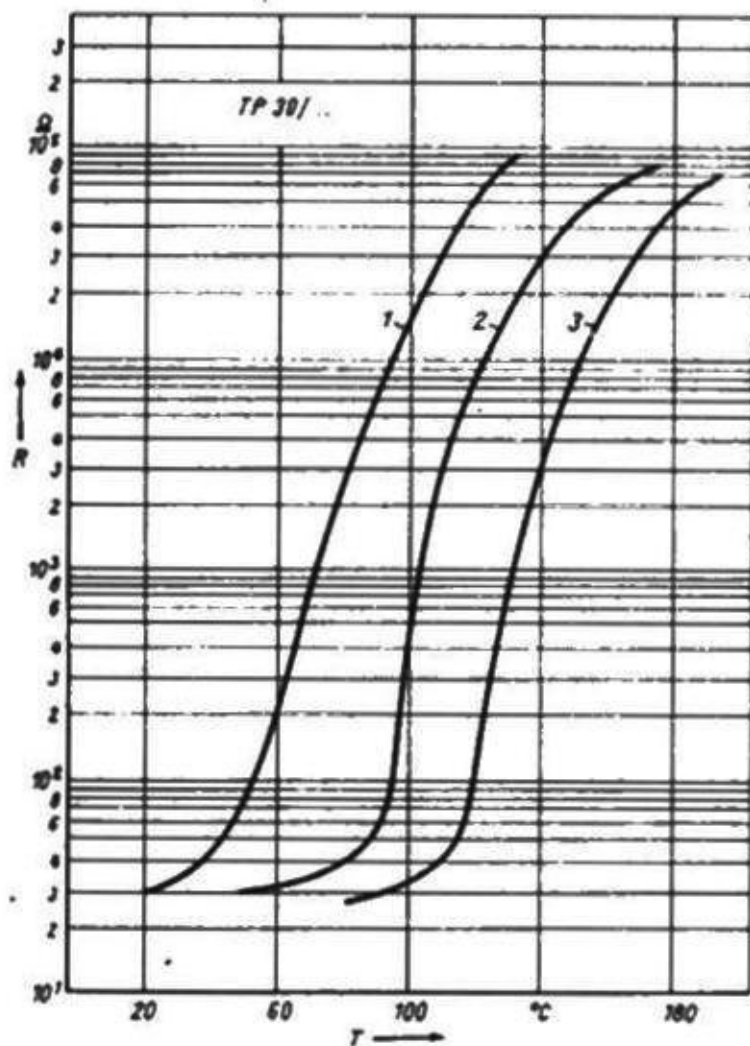


Bild 8 $R-T$ -Kennlinien der Typen TP 30V...

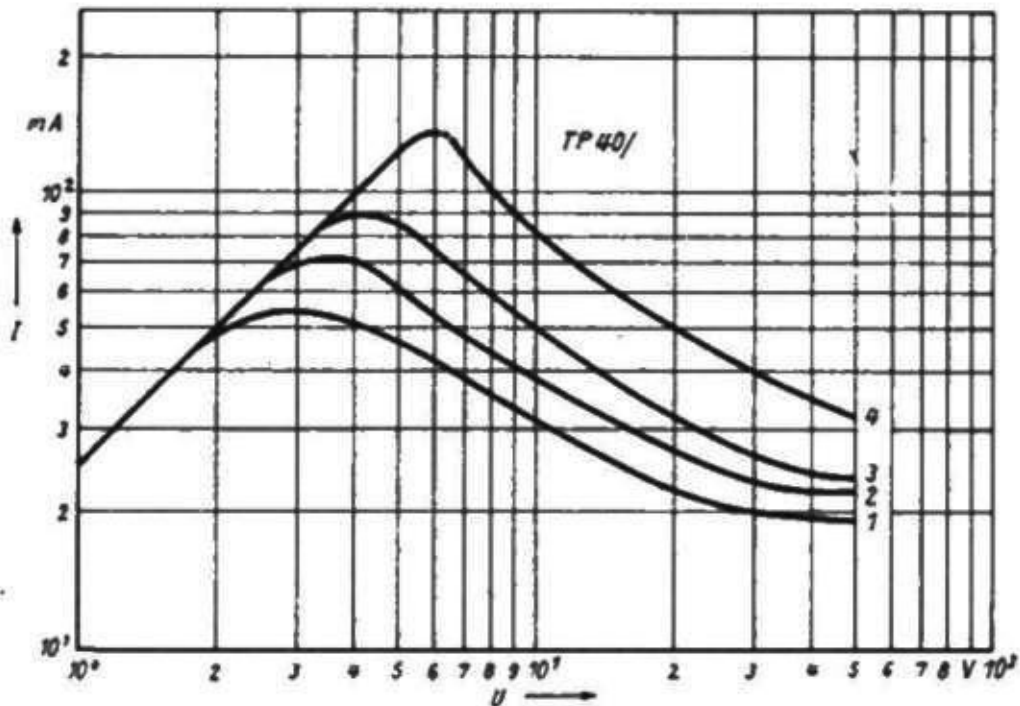


Bild 9 I-U-Kennlinien der Typen TP 40/...

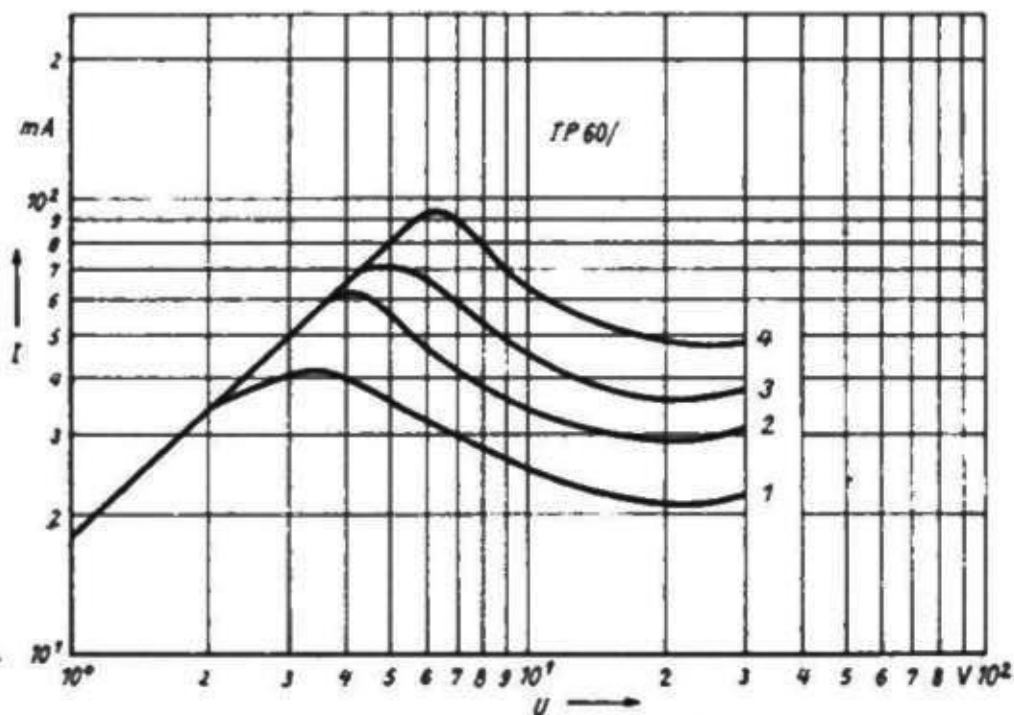


Bild 11 I-U-Kennlinien der Typen TP 60/...

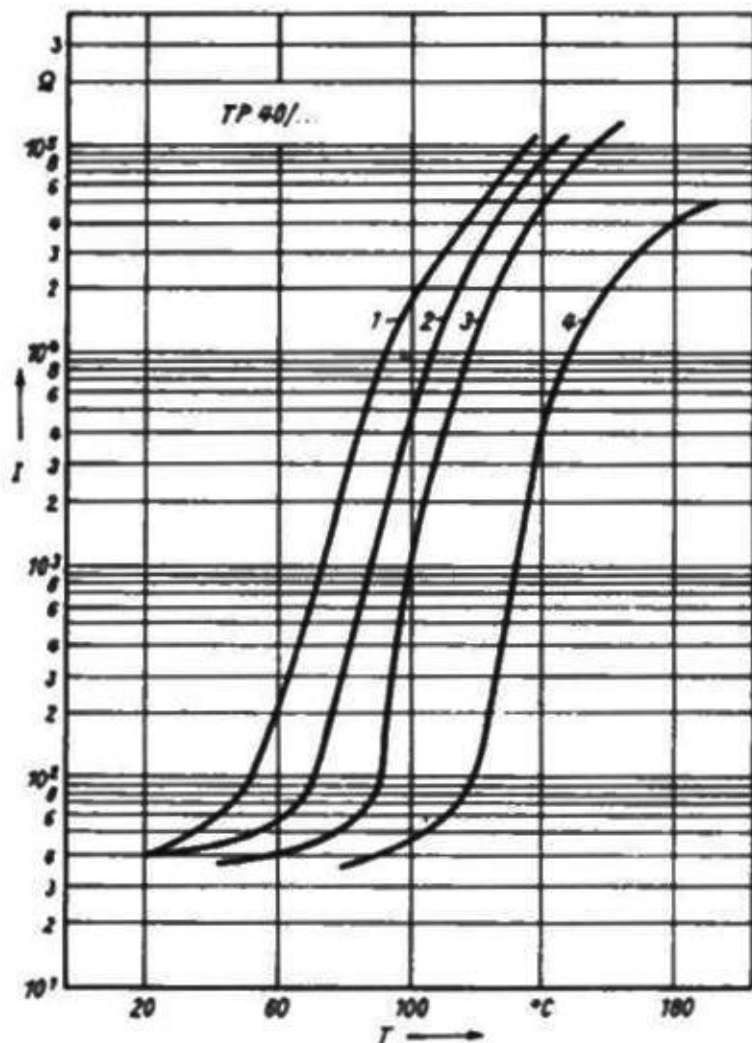


Bild 10 R-T-Kennlinien der Typen TP 40/...

Einige Anwendungshinweise

PTC-Thermistoren sind noch nicht so weit verbreitet wie NTC-Thermistoren. Es darf aber damit gerechnet werden, daß in den kommenden Jahren auch Kaltleiter mehr als gegenwärtig an Bedeutung gewinnen. Deshalb sollen nachfolgend einige wenige Einsatzmöglichkeiten vom Prinzip her vorgestellt werden. Kaltleiter kann man in den beiden Zustandsbereichen Eigen- und Fremderwärmung betreiben. Bei Betrieb im Bereich der Fremderwärmung wird die Temperatur des Kaltleiters durch seine Umgebungstemperatur bestimmt. Dazu muß man an das Bauelement eine kleine Spannung anlegen, damit sich seine Temperatur nicht ändert. Der Widerstandswert bleibt in etwa konstant. Eine solche Betriebsart ist z. B. der thermische Wicklungsschutz von Motorwicklungen. In diesem Fall wirkt der Kaltleiter als Temperaturfühler. Bei unzulässig starker Erhöhung der Temperatur im

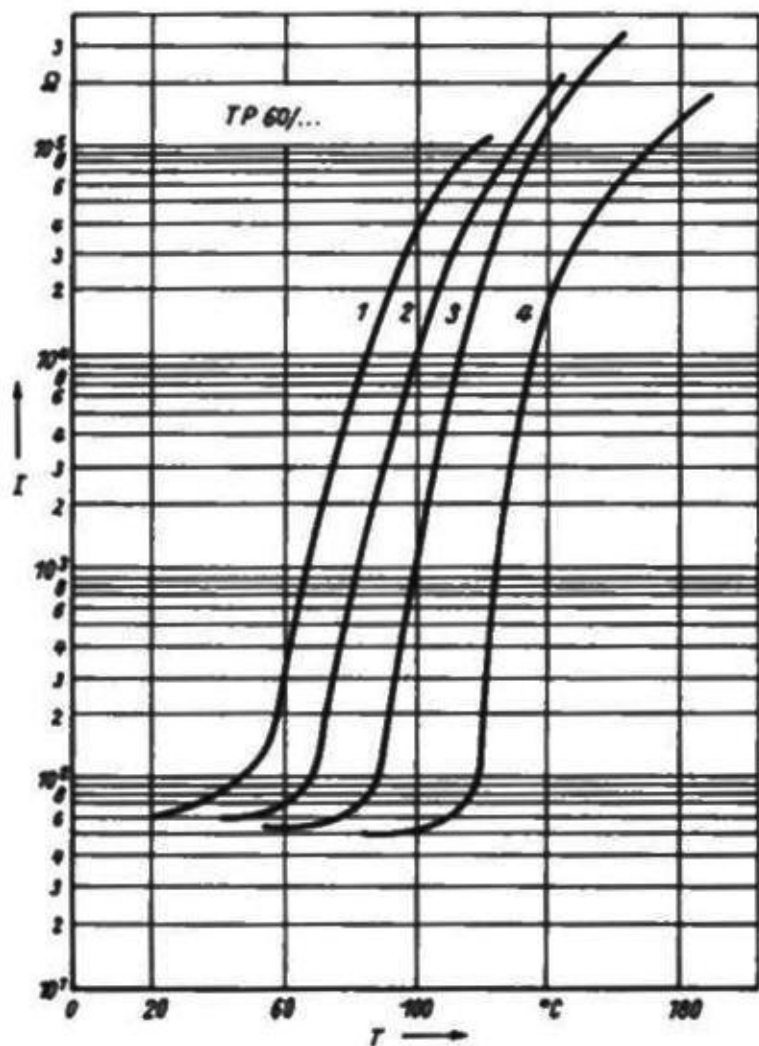


Bild 12 R-T-Kennlinien der Typen TP 60/...

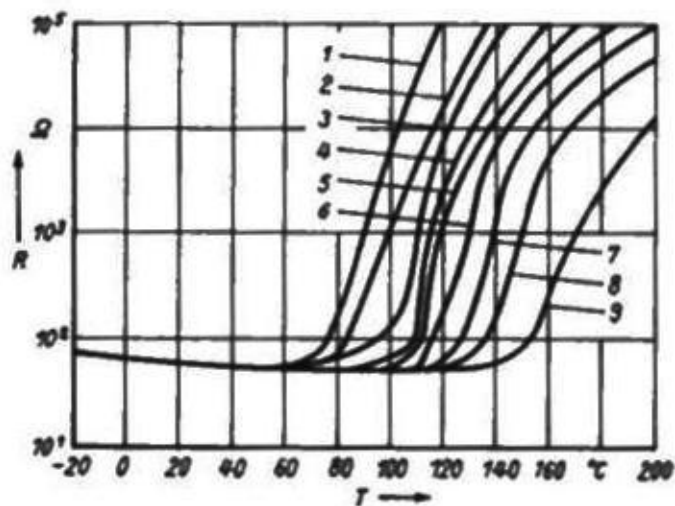


Bild 13
R-T-Kennlinien der Typenreihe TPM

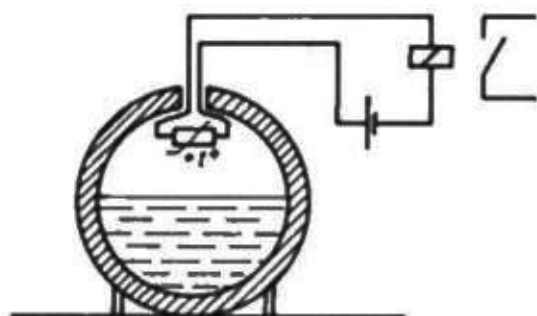


Bild 14
Kaltleiter als Füllstandsmelder

Motorrinnen können entsprechende Sicherheitsschaltungen ausgelöst werden.

Andersartige Anwendungsmöglichkeiten ergibt der Betrieb im Bereich der Eigenwärmung. Hierbei wird die Kaltleitertemperatur durch die angelegte Spannung sowie die Kühlung bestimmt. Diese Form wird beispielsweise industriell in Flüssigkeitsfüllstandsmeldern u. ä. ausgenutzt. Bild 14 zeigt das Prinzip.

In einem Behälter ordnet man den (Kaltleiter-) Fühler dort an, wo die maximale Füllstandsmenge erreicht sein soll. Dabei wird an den Kaltleiter eine hohe Spannung ($> 10 \text{ V}$) angelegt, wodurch ein Strom fließt, der ihn merklich erwärmt. Steigt die Flüssigkeit so weit an, daß der Kaltleiter darin eingetaucht wird, so kühlt sie ihn stark. Demzufolge nimmt sein Widerstandswert erheblich ab. Der maximale Füllstand kann durch einen Grenzwertmelder signalisiert werden. Ebenso denkbar wäre eine Anordnung, die den Zufluß entsprechend abschiebert.

Bild 15 gibt ein Beispiel für eine Blinkschaltung, bei der die Spieldauer (d. h. der Kehrwert der Blinkfrequenz einer der beiden Lampen) von der Umgebungstemperatur und der jeweiligen Speisespannung abhängt. Bild 16 veranschaulicht das Prinzip einer Temperaturüberwachungseinrichtung. In diesem Fall wirkt der Kaltleiter wiederum als Temperaturfühler. Beim

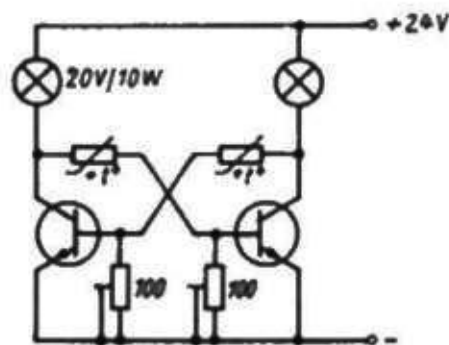


Bild 15
Kaltleiter zum Rückkoppeln im Multivibrator

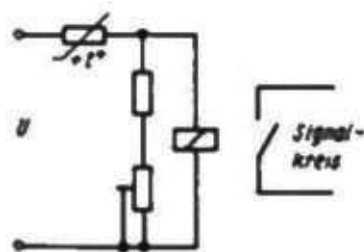


Bild 16
Prinzip einer Temperaturüberwachungseinrichtung

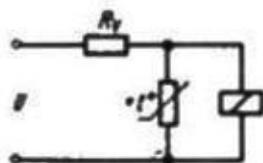


Bild 17
Relaisanzugsverzögerung mit Kaltleiter

Überschreiten einer festgelegten Grenztemperatur wird ein Schaltvorgang ausgelöst (z. B. Alarmsignal). Im «Normalzustand» ist das Relais angezogen. Bei der Erhöhung der Umgebungstemperatur bis zum Grenzwert wird der Kaltleiter entsprechend erwärmt. Das Relais fällt ab, wenn der mit dem Einsteller fixierte Ansprechpunkt überschritten wird. Ein Ruhekontakt im Signalkreis löst beispielsweise einen Alarm aus. Im Signalkreis kann man sowohl das Arbeitsstrom- als auch das Ruhestromprinzip ausnutzen. Bei dieser Anordnung ist zu beachten, daß keine unzulässige Eigenerwärmung des Kaltleiters hervorgerufen wird (Bemessungsfrage). Bild 17 zeigt schließlich noch eine Relaisanzugsverzögerung mit einem Kaltleiter. Nach der Zuschaltung der Speisespannung fließt der Strom zunächst über den parallel zur Relaiswicklung liegenden Kaltleiter. Dieser relativ hohe Strom erwärmt den Kaltleiter – er wird hochohmig. Der Strom fließt dann zunehmend über die Relaiswicklung. Das Relais zieht an, wenn der Wert des Ansprechstroms erreicht wird.

Diese wenigen Anwendungsbeispiele sollen genügen. Weitere Anwendungen findet der Leser in [2]. Dort werden auch einige Bemessungshinweise gegeben.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wurde das Bauelement *PTC-Thermistor (Kaltleiter)* behandelt. Dargestellt wurde alles das, was dem Anwender Nutzen bringen kann. Dem Auskunftsuchenden werden die Hilfen geboten, die er beim Umgang mit Kaltleitern weitestgehend benötigt. Aus diesem Grund sind Kenndaten und Kennlinien der Hauptinhalt. Die Vorstellung von Schaltbeispielen war nicht Sinn und Zweck des Beitrags. Diesbezüglich muß der interessierte Leser auf weiterführende Literatur verwiesen werden, z. B. [1].

Literatur

- [1] F. Bergtold, Photo-, Kalt- und Heißeleiter sowie VDR. München 1968.
- [2] G. Graichen, Theorie, Kennwerte und Anwendung keramischer Kaltleiter. *radio-fernsehen-elektronik* 29 (1980), Heft 5, Seite 311 bis 314.
- [3] Keramische Halbleiterwiderstände. Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf 1978.