
Thermistor - Calefactor PTC

Autor:

Data de publicació: 09-09-2023

Un termistor és un tipus de resistència semiconductora la resistència de la qual depèn fortament de la temperatura, més que en les resistències estàndard. La paraula termistor és un portmanteau de tèrmica i resistència.

Els termistors es divideixen en funció del seu model de conducció. Els termistors del coeficient de temperatura negativa (NTC) tenen menys resistència a temperatures més altes, mentre que els termistors del coeficient de temperatura positiva (PTC) tenen més resistència a temperatures més altes. [1]

El termistor NTC s'utilitza àmpliament com a limitadors de corrent d'entrada, sensors de temperatura, mentre que els termistors PTC s'utilitzen com a protectors de sobrecorrent autorestablerts i elements calefactors autoreguladors. Un rang de temperatura operativa d'un termistor depèn del tipus de sonda i normalment es troba entre -100 °C i 300 °C (-148 °F i 572 °F).

Termistor

Termistor de coeficient de temperatura negativa (NTC), tipus de perles, cables aïllats

Tipus

Passiu

Principide funcionament

Resistència elèctrica

Símbol electrònic

Símbol del termistor o varistor[2]

Contingut

Tipus

Segons els materials utilitzats, els termistors es classifiquen en dos tipus:

Amb els termistors NTC, la resistència disminueix a mesura que augmenta la temperatura; Normalment a causa d'un augment dels electrons de conducció excitats per l'agitació tèrmica de la banda de valència. Un NTC s'utilitza comunament com a sensor de temperatura, o en sèrie amb un circuit com a limitador de corrent d'entrada. Amb els termistors PTC, la resistència augmenta a mesura que augmenta la temperatura; generalment a causa de l'augment de les agitacions de xarxes tèrmiques, especialment les d'impureses i imperfeccions. Els termistors PTC s'instal·len comunament en sèrie amb un circuit, i s'utilitzen per protegir-se contra condicions de sobrecorrent, com a fusibles rearmables.

Els termistors es produeixen generalment utilitzant òxids metàl·lics en pols. [3] Amb fórmules i tècniques molt millorades en els últims 20 anys, els termistors NTC ara poden aconseguir precisions en amplis rangs de temperatura com $\pm 0,1$ °C o $\pm 0,2$ °C de 0 °C a 70 °C amb una excel·lent estabilitat a llarg termini. Els elements del termistor NTC vénen en molts estils [4] com ara díodes encapsulats de vidre amb plom axial (díodes DO-35, DO-34 i DO-41), xips recoberts de vidre, epoxi-recoberts amb filferro de plom nu o aïllat i muntatge superficial, així com versions de pel·lícula prima. El rang de temperatura de funcionament típic d'un termistor és de -55 °C a +150 °C, encara que alguns termistors del cos de vidre tenen una temperatura màxima de funcionament de +300 °C.

Els termistors difereixen dels detectors de temperatura de resistència (RTD) en què el material utilitzat en un termistor és generalment una ceràmica o polímer, mentre que els RTD utilitzen metalls purs. La resposta a la temperatura també és diferent; Els RTD són útils en rangs de temperatura més grans, mentre que els termistors solen aconseguir una major precisió dins d'un rang de temperatura limitat, típicament de -90 °C a 130 °C.[5]

Funcionament bàsic

Suposant, com a aproximació de primer ordre, que la relació entre resistència i temperatura és lineal, llavors

$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$
on

R , canvi de resistència, T , canvi de temperatura, α , coeficient de resistència de temperatura de primer ordre. Segons el tipus de termistor de què es tracti, el pot ser positiu o negatiu.

Si és positiu, la resistència augmenta amb l'augment de la temperatura i el dispositiu s'anomena termistor de coeficient de temperatura positiva (PTC), o posistor, hi ha dos tipus de PTCr, termistor de commutació i silistor. Si és negatiu, la resistència disminueix amb l'augment de la temperatura i el dispositiu s'anomena termistor de coeficient de temperatura negativa (NTC). Les resistències que no són termistors estan dissenyades per tenir un el més proper a 0 possible, de manera que la seva resistència es mantingui gairebé constant en un ampli rang de temperatures.

En lloc del coeficient de temperatura k , de vegades el coeficient de temperatura de resistència ("alfa sub T") s'utilitza. Es defineix com[6]

$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}$

Aquest no s'ha de confondre el coeficient amb el un paràmetre següent.

Construcció i materials

Aquesta secció necessita ampliació. Podeu ajudar afegint-hi. (Juny 2021)

Els termistors es construeixen típicament utilitzant òxids metàl·lics. [7]

Els termistors NTC es fabriquen a partir d'òxids del grup ferro dels metalls: per exemple, crom (CrO, Cr₂O₃), manganès (per exemple, MnO), cobalt (CoO), ferro (òxids de ferro) i níquel (NiO, Ni₂O₃). [8][9] Aquests òxids formen un cos ceràmic amb terminals compostos de metalls conductors com la plata, el níquel i l'estany.

Equació de Steinhart-Hart

Article principal: Equació de Steinhart-Hart

En dispositius pràctics, el model d'aproximació lineal (a dalt) només és precís en un rang de temperatura limitat. En rangs de temperatura més amplis, una funció de transferència resistència-temperatura més complexa proporciona una caracterització més fidel del rendiment. L'equació de Steinhart-Hart és una aproximació de tercer ordre àmpliament utilitzada:

No s'ha pogut analitzar (SVG (MathML es pot activar mitjançant el connector del navegador): Resposta no vàlida ("L'extensió Math no es pot connectar a Restbase.") del servidor "http://localhost:6011/en.wikipedia.org/v1/":

$$\frac{1}{T} = a + b \ln R + c, (\ln R)^3,$$

on a, b i c s'anomenen paràmetres de Steinhart-Hart i s'han d'especificar per a cada dispositiu. T és la temperatura absoluta, i R és la resistència. L'equació no és dimensionalment correcta, ja que un canvi en les unitats de R resulta en una equació amb una forma diferent, que conté un $(\ln R)^2$ terme. A la pràctica, l'equació dona bons resultats numèrics per a resistències expressades en ohms o k Ω , però els coeficients a, b i c s'han d'enunciar fent referència a la unitat. [12] Per donar resistència en funció de la temperatura, l'equació cúbica anterior en $\ln R$ es pot resoldre, l'arrel real de la qual ve donada per

$\ln R = \frac{1}{3} \left(\frac{1}{T} - a - c \right)^{1/3}$

on

$= \frac{1}{3} \left(\frac{1}{T} - a - c \right)^{1/3}$

L'error en l'equació de Steinhart-Hart és generalment inferior a 0,02 °C en la mesura de la temperatura en un rang de 200 °C. [13] Com a exemple, els valors típics d'un termistor amb una resistència de 3 k Ω a temperatura ambient (25 °C = 298,15 K, R en Ω) són:

$a = 1.40 \times 10^{-3}, b = 2.37 \times 10^{-4}, c = 9.90 \times 10^{-8}$.

Equació de paràmetres B o ?

Els termistors NTC també es poden caracteritzar amb l'equació del paràmetre B (o ?), que és essencialment l'equació de Steinhart-Hart amb $a = 1/0, b = 1/\ln R_0$, $c = 0$,

$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln \frac{R}{R_0}$,

on les temperatures i el paràmetre B estan en kèlvins, i R_0 és la resistència a la temperatura T_0 (25 °C = 298,15 K). [14] Solució de R rendiments

$R = R_0 \exp \left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0} \right)$

o, alternativament,

$\ln R = \frac{B}{T} - \frac{B}{T_0} + \ln R_0$,

on $\ln R_0 = \ln R - \frac{B}{T} + \frac{B}{T_0}$.

Això es pot solucionar per a la temperatura:

$T = \frac{B}{\ln R - \ln R_0 + \frac{B}{T_0}}$.

L'equació del paràmetre B també es pot escriure com $\ln R = \frac{B}{T} + \ln R_0$. Això es pot utilitzar per convertir la funció de resistència vs. temperatura d'un termistor en una funció lineal de $\ln R$ vs. $1/T$. El pendent mitjà d'aquesta funció donarà una estimació del valor del paràmetre B.

Model de conducció

NTC (coeficient de temperatura negatiu)

Un termistor NTC fallit (bufat) que funcionava com a limitador de corrent d'entrada en una font d'alimentació en mode commutat

Molts termistors NTC estan fets d'un disc premsat, vareta, placa, perla o xip fos de material semiconductor com els òxids metàl·lics sinteritzats. Funcionen perquè elevar la temperatura d'un semiconductor augmenta el nombre de portadors de càrrega activa promovent-los a la banda de conducció. Com més portadors de càrrega estiguin disponibles, més corrent pot conduir un material. En certs materials com l'òxid fèrric (Fe₂O₃) amb dopatge de titani (Ti) es forma un semiconductor de tipus n i els portadors de càrrega són electrons. En materials com l'òxid de níquel (NiO)

amb dopatge de liti (Li) es crea un semiconductor de tipus p, on els forats són els portadors de càrrega. [15]

Això es descriu a la fórmula

$J_0 = q n v_d$,
on

J_0 = corrent elèctric (amperes), = densitat de portadors de càrrega (compta/m³), n = àrea de secció transversal del material (m²), = velocitat de deriva dels electrons (m/s), = càrrega d'un electró (=1.602×10⁻¹⁹ coulomb). Davant grans canvis de temperatura, és necessari un calibratge. En petits canvis de temperatura, si s'utilitza el semiconductor adequat, la resistència del material és linealment proporcional a la temperatura. Hi ha molts termistors semiconductors diferents amb un rang d'aproximadament 0,01 kelvin a 2,000 kèlvins (-273,14 °C a 1.700 °C). [16]

El símbol estàndard IEC per a un termistor NTC inclou un "t" sota el rectangle. [17]

PTC (coeficient de temperatura positiva)

La majoria dels termistors de PTC estan fets de ceràmica policristal·lina dopada (que conté titanat de bari (BaTiO₃) i altres compostos) que tenen la propietat que la seva resistència augmenta sobtadament a una certa temperatura crítica. El titanat de bari és ferroelèctric i la seva constant dielèctrica varia amb la temperatura. Per sota de la temperatura del punt de Curie, l'alta constant dielèctrica impedeix la formació de barreres potencials entre els grans de cristall, donant lloc a una baixa resistència. En aquesta regió, el dispositiu té un petit coeficient de temperatura negatiu. A la temperatura del punt de Curie, la constant dielèctrica baixa prou com per permetre la formació de barreres potencials en els límits del gra, i la resistència augmenta bruscament amb la temperatura. A temperatures encara més altes, el material torna al comportament NTC.

Un altre tipus de termistor és un silistor (una resistència de silici tèrmicament sensible). Els silistors empren silici com a material component semiconductor. A diferència dels termistors PTC ceràmics, els silistors tenen una característica de resistència-temperatura gairebé lineal. [18] Els termistors PTC de silici tenen una deriva molt més petita que un termistor NTC. Són dispositius estables que es tanquen hermèticament en un envàs encapsulat axial de vidre emplomat. [19]

Els termistors de titanat de bari es poden utilitzar com a escalfadors autocontrolats; Per a un voltatge determinat, la ceràmica s'escalfarà a una temperatura determinada, però la potència utilitzada dependrà de la pèrdua de calor de la ceràmica.

La dinàmica dels termistors PTC que s'alimenten presta a una àmplia gamma d'aplicacions. Quan es connecta per primera vegada a una font de tensió, flueix un gran corrent corresponent a la resistència baixa, freda, però a mesura que el termistor s'autoescalfa, el corrent es redueix fins que s'arriba a un corrent limitant (i la temperatura màxima del dispositiu corresponent). L'efecte limitant de corrent pot substituir els fusibles. En els circuits de desgaussing de molts monitors i televisors CRT, un termistor adequadament escollit es connecta en sèrie amb la bobina de desgaussing. Això resulta en una disminució del corrent suau per a un efecte desgaussing millorat. Alguns d'aquests circuits de desgaussing tenen elements auxiliars de calefacció per escalfar encara més el termistor (i reduir el corrent resultant).

Un altre tipus de termistor PTC és el polímer PTC, que es ven sota marques com "Polyswitch", "Semifusible" i "Multifusible". Consisteix en plàstic amb grans de carboni incrustats en ell. Quan el plàstic està fred, els grans de carboni estan tots en contacte entre si, formant un camí conductor a través del dispositiu. Quan el plàstic s'escalfa, s'expandeix, obligant els grans de carboni a separar-se i fent que augmenti la resistència del dispositiu, cosa que provoca un augment de l'escalfament i un augment ràpid de la resistència. Igual que el termistor BaTiO₃, aquest dispositiu té una resposta de resistència/temperatura altament no lineal útil per al control tèrmic o de circuits, no per a la mesura de temperatura. A més dels elements del circuit utilitzats per limitar el corrent, es poden fer escalfadors autolimitats en forma de cables o tires, útils per al traçat de calor. Els termistors PTC "s'enganxen" a un estat de calor / alta resistència: un cop calents, es mantenen en aquest estat d'alta resistència, fins que es refreden. L'efecte es pot utilitzar com un circuit primitiu de pestell / memòria, l'efecte es millora mitjançant l'ús de dos termistors PTC en sèrie, amb un termistor fred, i l'altre termistor calent. [20]

El símbol estàndard IEC per a un termistor PTC inclou un "t" sota el rectangle. [21]

Efectes d'autoescalfament

Quan un corrent flueix a través d'un termistor, genera calor, que eleva la temperatura del termistor per sobre de la del seu entorn. Si el termistor s'utilitza per mesurar la temperatura de l'ambient, aquest escalfament elèctric pot introduir un

error significatiu (un efecte observador) si no es fa una correcció. Alternativament, aquest efecte en si mateix es pot aprofitar. Pot, per exemple, fabricar un dispositiu sensible de flux d'aire emprat en un instrument de velocitat d'ascens d'un avió, el variòmetre electrònic, o servir com a temporitzador per a un relé com es feia antigament en les centrals telefòniques.

L'entrada d'energia elèctrica al termistor és només

$=I_0$,

on I és el corrent, i V és la caiguda de tensió a través del termistor. Aquesta energia es converteix en calor, i aquesta energia calorífica es transfereix a l'entorn circumdant. La velocitat de transferència està ben descrita per la llei de refredament de Newton:

$=(T - T_0)$,

on T (R) és la temperatura del termistor en funció de la seva resistència R , T_0 és la temperatura de l'entorn, i K és la constant de dissipació, normalment expressada en unitats de mil·liwatts per grau centígrad. En equilibri, les dues taxes han de ser iguals:

$=$.

El corrent i la tensió a través del termistor depenen de la configuració del circuit particular. Com a exemple senzill, si la tensió a través del termistor es manté fixa, llavors per la llei d'Ohm tenim $I_0 = V/R$, i l'equació d'equilibri es pot resoldre per a la temperatura ambient en funció de la resistència mesurada del termistor:

$T = T_0 + \frac{V^2}{K R}$.

La constant de dissipació és una mesura de la connexió tèrmica del termistor al seu entorn. Generalment es dona per al termistor en aire quiet i en oli ben remenat. Els valors típics d'un petit termistor de perles de vidre són 1,5 mW/°C en aire quiet i 6,0 mW/°C en oli agitat. Si es coneix prèviament la temperatura de l'ambient, es pot utilitzar un termistor per mesurar el valor de la constant de dissipació. Per exemple, el termistor es pot utilitzar com a sensor de cabal, ja que la constant de dissipació augmenta amb la velocitat de flux d'un fluid més enllà del termistor.

La potència dissipada en un termistor es manté típicament a un nivell molt baix per garantir un error de mesura de temperatura insignificant a causa de l'autoescalfament. No obstant això, algunes aplicacions del termistor depenen d'un "autoescalfament" significatiu per elevar la temperatura corporal del termistor molt per sobre de la temperatura ambient, de manera que el sensor detecta fins i tot canvis subtils en la conductivitat tèrmica de l'ambient. Algunes d'aquestes aplicacions inclouen la detecció de nivell de líquid, la mesura del flux de líquid i la mesura del flux d'aire. [6]

Aplicacions

PTC

Com a dispositius limitadors de corrent per a la protecció de circuits, com a substituïts de fusibles. El corrent a través del dispositiu provoca una petita quantitat d'escalfament resistiu. Si el corrent és prou gran com per generar més calor de la que el dispositiu pot perdre al seu entorn, el dispositiu s'escalfa, fent que augmenti la seva resistència. Això crea un efecte autoreforçant que impulsa la resistència cap amunt, limitant així el corrent.

Com temporitzadors en el circuit de bobina de desgaussing de la majoria de pantalles CRT. Quan la unitat de visualització està inicialment encesa, el corrent flueix a través del termistor i la bobina de desgaussing. La bobina i el termistor es dimensionen intencionadament de manera que el flux de corrent escalfarà el termistor fins al punt que la bobina de desgaussing s'apaga en menys d'un segon. Per a una desgaussing efectiva, cal que la magnitud del camp magnètic altern produït per la bobina de desgaussing disminueixi suaument i contínuament, en lloc d'apagar-se bruscament o disminuir en etapes; el termistor PTC ho aconsegueix naturalment a mesura que s'escalfa. Un circuit de desgaussing utilitzant un termistor PTC és simple, fiable (per la seva simplicitat) i barat.

Com a escalfador en la indústria de l'automòbil per proporcionar calor addicional a l'interior de la cabina amb motor dièsel o per escalfar gasoil en condicions climàtiques fredes abans de la injecció del motor.

A temperatura compensada oscil·ladors controlats per tensió del sintetitzador. [22]

En circuits de protecció de bateries de liti. [23]

En un motor de cera accionat elèctricament per proporcionar la calor necessària per expandir la cera.

Molts motors elèctrics i transformadors de potència de tipus sec incorporen termistors PTC en els seus bobinats. Quan s'utilitzen conjuntament amb un relé de monitorització, proporcionen protecció contra la sobretemperatura per evitar danys a l'aïllament. El fabricant de l'equip selecciona un termistor amb una corba de resposta altament no lineal on la resistència augmenta dràsticament a la temperatura màxima de bobinat permesa, fent que el relé funcioni.

Evitar el vessament tèrmic en circuits electrònics. Molts dispositius electrònics, per exemple els transistors bipolars, treuen més potència a mesura que s'escalfen. Normalment, aquests circuits contenen resistències ordinàries per limitar

el corrent disponible i evitar que el dispositiu se sobreescalfi. No obstant això, en algunes aplicacions, els termistors PTC permeten un millor rendiment que les resistències.

Per evitar l'acaparament de corrent en circuits electrònics. L'acaparament actual es pot produir quan els dispositius electrònics estan connectats en paral·lel. En casos greus, l'acaparament actual pot provocar una fallada en cascada de tots els dispositius. Un termistor PTC connectat en sèrie amb cada dispositiu pot assegurar que el corrent es divideix raonablement uniformement entre els dispositius.

En oscil·ladors de cristall per a la compensació de temperatura, el control de temperatura d'equips mèdics i l'automatització industrial, els termistors de Silicon PTC mostren un coeficient de temperatura positiu gairebé lineal (0,7% / °C). Es pot afegir una resistència de linealització si es necessita una major linealització. [24]

CNT

Com a termòmetre per a mesures de baixa temperatura de l'ordre de 10 K.

Com a dispositiu limitador de corrent d'entrada en els circuits d'alimentació, presenten una resistència més alta inicialment, cosa que impedeix que flueixin grans corrents a l'encesa, i després s'escalfen i es converteixen en una resistència molt menor per permetre un flux de corrent més alt durant el funcionament normal. Aquests termistors solen ser molt més grans que els termistors de tipus mesura, i estan dissenyats expressament per a aquesta aplicació. [25]

Com a sensors en aplicacions d'automoció per monitoritzar temperatures de fluids com el refrigerant del motor, l'aire de la cabina, la temperatura de l'aire extern o l'oli del motor, i alimentar les lectures relatives a unitats de control com l'ECU i al quadre de comandament.

Monitoritzar la temperatura d'una incubadora.

Els termistors també s'utilitzen habitualment en termòstats digitals moderns i per controlar la temperatura dels paquets de bateries mentre es carreguen.

Els termistors s'utilitzen sovint en els extrems calents de les impressores 3D; Controlen la calor produïda i permeten que els circuits de control de la impressora mantinguin una temperatura constant per fondre el filament plàstic.

En la indústria de manipulació i transformació d'aliments, especialment en sistemes d'emmagatzematge d'aliments i preparació d'aliments. Mantenir la temperatura correcta és fonamental per prevenir malalties transmeses pels aliments.

A tota la indústria d'electrodomèstics de consum per mesurar la temperatura. Torradors, cafeteres, neveres, congeladors, assecadors de cabell, etc. depenen de termistors per a un correcte control de la temperatura.

Els termistors NTC es presenten en formes nues i arrossegades, el primer és per a la detecció puntual per aconseguir una alta precisió per a punts específics, com ara matriu de díode làser, etc.[26]

Per a la mesura del perfil de temperatura a l'interior de la cavitat segellada d'un sensor inercial convector (tèrmic). [27]

Els conjunts de sondes Thermistor [28] ofereixen protecció del sensor en entorns durs. L'element de detecció del termistor es pot empaquetar en una varietat de recintes per al seu ús en indústries com climatització / R, automatització d'edificis, piscina / spa, energia i electrònica industrial. Els tancaments poden ser d'acer inoxidable, alumini, coure, llautó o plàstic i les configuracions inclouen roscades (TNP, etc.), brides (amb orificis de muntatge per facilitar la instal·lació) i rectes (punta plana, punta punxeguda, punta de radi, etc.). Els conjunts de sondes Thermistor són molt resistents i són altament personalitzables per adaptar-se a les necessitats de l'aplicació. Els conjunts de sondes han guanyat popularitat al llarg dels anys a mesura que s'han fet millores en la investigació, l'enginyeria i les tècniques de fabricació.

Els termistors NTC reconeguts UL a la categoria XGPU2 ajuden a estalviar temps i diners als fabricants d'equips a l'hora de sol·licitar aprovacions de seguretat per al seu producte final. Els termistors encapsulats de vidre hermèticament segellats DO-35 [29] poden operar fins a 250 °C, cosa que els dona un avantatge en moltes aplicacions quan es demana UL per a un element de detecció.

Història

El primer termistor NTC va ser descobert el 1833 per Michael Faraday, que va informar sobre el comportament semiconductor del sulfur de plata. Faraday va notar que la resistència del sulfur de plata disminuïa dràsticament a mesura que augmentava la temperatura. (Aquesta va ser també la primera observació documentada d'un material semiconductor.) [30]

Com que els primers termistors eren difícils de produir i les aplicacions per a la tecnologia eren limitades, la producció comercial de termistors no va començar fins a la dècada de 1930.[31] Samuel Ruben va inventar un termistor comercialment viable el 1930. [32]

Vegeu també

Termòmetre de resistència

Termoparell

Resistència ferro-hidrogen

Referències

- ^ "Termistor PTC vs. termistor NTC per mesurar la temperatura d'un líquid". Intercanvi de piles d'enginyeria elèctrica. [Consulta: 24 abril 2022].
- ^ "Normes per a símbols de resistències". EePower. EETech Mèdia. [Consulta: 13 setembre 2021].
- ^ "Què és un Termistor? Com funcionen els termistors?". Tecnologies de sensors EI. [Consulta: 2019-05-13].
- ^ "Termistors". Tecnologies de sensors EI. [Consulta: 2019-05-13].
- ^ "Termistors NTC". Tecnologies de microxips. 2010.
- ^ Jump up to:un b Terminologia del termistor. Pocs recursos tècnics.
- ^ Guia de disseny de ventilació industrial. Howard D. Goodfellow, Esko Tähti. San Diego, Califòrnia: Acadèmic. 2001. ISBN 978-0-12-289676-7. OCLC 162128694.
- ^ Morris, Alan S. (2020). "Capítol 14 - Mesura de la temperatura". Teoria i aplicació de la mesura i instrumentació. Reza Langari (Tercera ed.). Amsterdam. ISBN 978-0-12-817142-4. OCLC 1196195913.
- ^ Proves i anàlisis de fatiga: teoria i pràctica. Yung-Li Lee. Burlington, Miss.: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. ISBN 978-0-08-047769-5. OCLC 56731934.
- ^ Morris, Alan S. (2020). "Capítol 14 - Mesura de la temperatura". Teoria i aplicació de la mesura i instrumentació. Reza Langari (Tercera ed.). Amsterdam. ISBN 978-0-12-817142-4. OCLC 1196195913.
- ^ Proves i anàlisis de fatiga: teoria i pràctica. Yung-Li Lee. Burlington, Miss.: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. ISBN 978-0-08-047769-5. OCLC 56731934.
- ^ Matus, Miquel (2011). "Mesura de temperatura en metrologia dimensional - Per què l'equació de Steinhart-Hart funciona tan bé". Macroescala.
- ^ "Mesures pràctiques de temperatura". Nota d'aplicació àgil. Agilent Semiconductor.
- ^ Becker, J. A. (1947). "Propietats i usos de resistències termosensibles tèrmicament". Revista Tècnica Bell System. 26: 170-212. DOI:10.1002/j.1538-7305.1947.tb01314.x. [Consulta: 22 abril 2022].
- ^ L. W Turner, ed. (1976). Llibre de referència de l'enginyer electrònic (4 ed.). Papallones. pàgines 6-29 a 6-41. ISBN 0408001682.
- ^ "Fluids tèrmicsPedia | Mesures de temperatura i instrumentació | Central de fluids tèrmics".
- ^ "NTC termistor » Guia de resistències".
- ^ "PTC Termistors i Silistes" La guia de resistències
- ^ "Què és un Termistor? Com funcionen els termistors?".
- ^ Downie, Neil A., L'últim llibre de la ciència del dissabte (Princeton 2012) ISBN 0-691-14966-6
- ^ "Termistor PTC – Coeficient de temperatura positiva". Guia de resistències.
- ^ Patchell, Jim. "VCO compensada per temperatura". www.oldcrows.net.
- ^ Patent CN 1273423A (Xina)
- ^ "Termistors ED35S PTC".
- ^ Termistors de potència limitant de corrent d'inrush. Sensor dels EUA
- ^ "Guia de termistors PTC- "Publicar per tecnologies electròniques analògiques"".
- ^ Mukherjee, Rahul; Basu, Joydeep; Mandal, Pradip; Guha, Prasanta Kumar (2017). "Una revisió dels acceleròmetres tèrmics micromecanitzats". Revista de Micromecànica i Microenginyeria. 27 (12): 123002. arXiv:1801.07297. Codi:2017JMiMi.. 27L3002M. DOI:10.1088/1361-6439/AA964D. S2CID 116232359.
- ^ "Sondes de termistor". Tecnologies de sensors EI. [Consulta: 2019-05-13].
- ^ "ED35U UL Termistors NTC encapsulats en vidre".
- ^ "1833 - Es registra el primer efecte semiconductor". Museu d'Història de la Informàtica. [Consulta: 24 juny 2014].
- ^ McGee, Thomas (1988). "Capítol 9". Principis i mètodes de mesura de temperatura. John Wiley & Sons. p. 203. ISBN 9780471627678.
- ^ Jones, Deric P., ed. (2009). Sensors biomèdics. Premsa d'impuls, p. 12. ISBN 9781606500569.

Enllaços externs

A Wikimedia Commons hi ha contingut multimèdia relatiu a: Termistor

El termistor a bucknell.edu

Càlcul de coeficients de Steinhart-Hart per a termistors a sourceforge.net

"Termistors i termoparells: Matching the Tool to the Task in Thermal Validation" – Revista de Tecnologia de Validació

mostrar

v
t
e

Components electrònics