

2.3 Temperatuursensoren

2.3.1 Bimetaal thermostaat

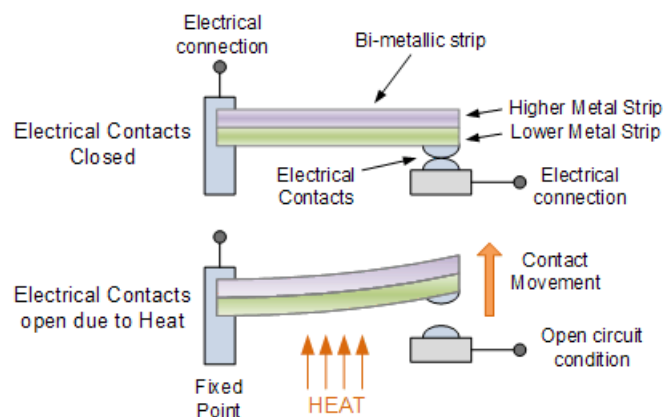
Een veel toegepaste temperatuursensor is de **bimetaal thermostaat**. Het hart van deze temperatuurvoeler is een *bimetaalstrip* die samengesteld is uit twee verschillende metalen die aan elkaar vastgeklonken zijn. Het is van belang dat deze metalen een verschillende uitzettingscoëfficiënt bezitten. Meestal gebruiken we nikkel, koper, wolfram en aluminium.

Principe

- Doordat het ene metaal onder invloed van warmte meer uitzet dan het andere, zal het bimetaal kromtrekken.
- De bimetaalstrip zelf kan dienst doen als temperatuurgevoelige schakelaar.
- Een andere optie is dat het kromtrekken van het bimetaal een mechanisme bedient om een elektrisch schakelcontact te sluiten (NO) of te openen (NC).



We vinden deze eenvoudige opnemer vaak terug in temperatuurregelingen van warmwaterboilers, CV-systemen, airco-systemen, ovens, koelcircuits van auto's,...



△ Fig.2.34 | Principe van een bimetaalschakelaar.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

De meeste thermostaten zijn uitgerust met 'snap-action' contacten die bij een bepaalde temperatuur snel omschakelen van UIT naar AAN (NO) of van AAN naar UIT (NC). Figuur 2.35 toont een voorbeeld van zo'n snap-action thermocontact.



△ Fig.2.35 | Typisch thermocontact.
Bron: <https://nl.rs-online.com>

Hoewel dit sensortype spotgoedkoop is en wijdverspreid diverse toepassingen kent, dienen we rekening te houden met een groot nadeel wanneer we thermostaten willen inzetten als temperatuursensor. Bij thermostatische regelingen worden we immers geconfronteerd met zogenaamde *schakelhysteresis*. Stel dat we de kamertemperatuur van een centrale verwarming ingesteld hebben op 20°C. Het thermocontact zal pas openen bij bijvoorbeeld 22°C en pas terug sluiten bij bijvoorbeeld 18°C. Op die manier is de kamertemperatuur niet constant 20°C maar evolueert hij op en neer tussen een minimum en een maximum.

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** zijn:

- goedkoop
- eenvoudig

De voornaamste **nadelen** zijn:

- niet nauwkeurig
- grote schakelhysteresis



2.3.2 Thermistoren

Thermistoren^[22] worden veel toegepast om naast de omgevingstemperatuur ook de temperatuur van vloeistoffen te meten. Typische toepassingen zijn: temperatuurcompensatie bij elektronische schakelingen, presieze temperatuursmetingen en regelingen en het begrenzen van inschakelstromen. Er zijn twee types beschikbaar: **NTC** en **PTC**.

Principe

- Een **thermistor** is een halfgeleider waarvan de weerstandswaarde proportioneel verandert bij *kleine* wijzigingen van de omgevingstemperatuur.
- De naamgeving is een samentrekking van THERM-ally sensitive res-ISTOR.
- **NTC-thermistoren** zijn het meest voorkomende type en bezitten een negatieve temperatuurscoëfficiënt.



△ Fig.2.36 | Koppeltje NTC-thermistoren.
Bron: <https://www.electrical4u.com>

PTC en NTC karakteristiek

- Bij een negatieve temperatuurscoëfficiënt thermistor, kortweg **NTC thermistor** zal de weerstandswaarde *dalen* bij *stijgende* omgevingstemperatuur.
- Bij een positieve temperatuurscoëfficiënt thermistor, kortweg **PTC thermistor** zal de weerstandswaarde *stijgen* bij *stijgende* omgevingstemperatuur.

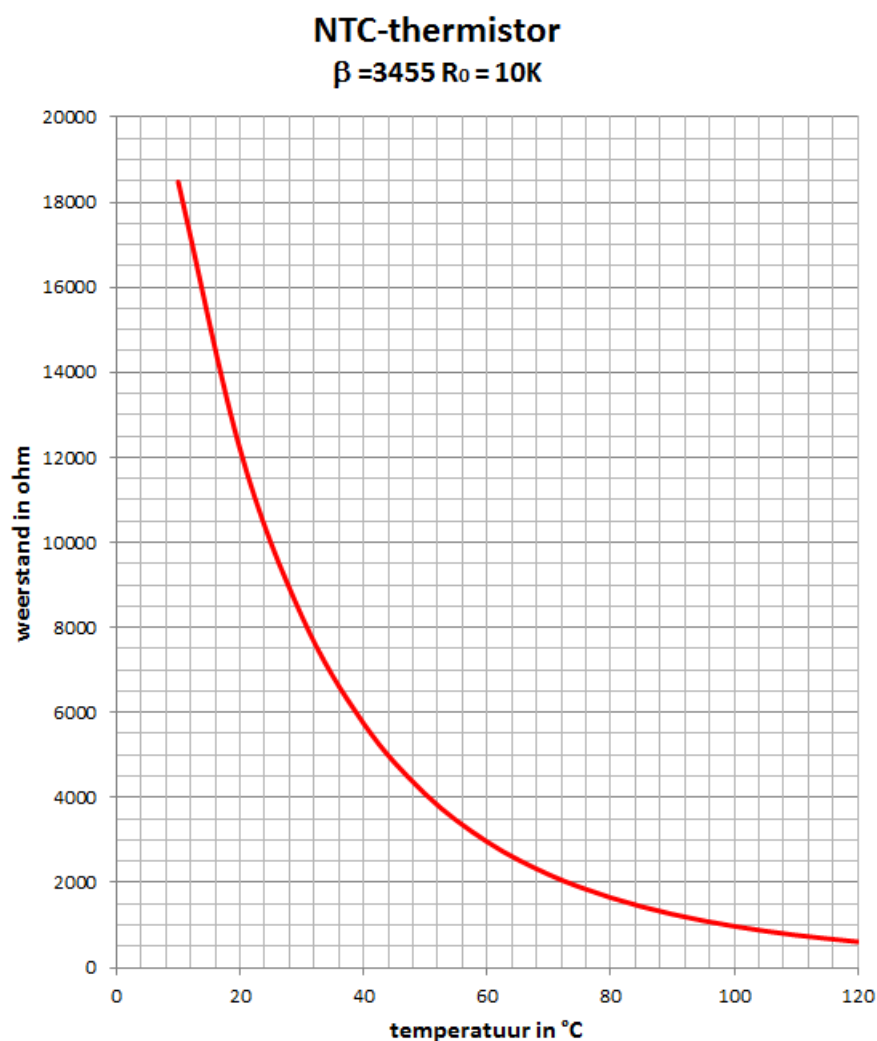


[22] Al in 1833 kwam Michael Faraday al op het spoor het thermistor-effect bij het bestuderen van het NTC-gedrag van zilver sulfide.

We zetten *NTC-thermistoren* in om kwantitatieve temperatuurmetingen te doen terwijl de *PTC-thermistoren* hun nut bewijzen bij het beveiligen van elektrische componenten tegen overstroom. Fabrikanten van NTC-thermistoren geven dikwijls een *referentie weerstandswaarde* op bij kamertemperatuur (25°C). Een andere belangrijke parameter is *beta-waarde* (β). Deze temperatuursconstante laat ons toe de weerstandswaarde te berekenen bij een gegeven temperatuur. Het is nu mogelijk een curve te tekenen waarbij we de *weerstandswaarde* uitzetten in functie van de *temperatuur*. Hierbij maken we gebruik van onderstaande genormaliseerde uitdrukking:

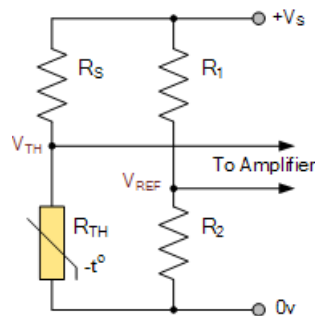
$$R = R_0 \cdot e^{\beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

Hierin is R de weerstandswaarde van de thermistor bij een bepaalde temperatuur, R_0 is de referentieweerstandswaarde bij 25°C, β de temperatuurscoëfficiënt opgegeven door de fabrikant, T de temperatuur in kelvin en T_0 de referentietemperatuur in kelvin.



△ Fig.2.37 | NTC-thermistorcurve
Bron: W. Van Wichelen

Thermistoren zijn *passieve* resistieve componenten wat betekent dat we er een stroom moeten doorsturen om een bruikbare sensorspanning te kunnen genereren. We verwezenlijken dit door de NTC-thermistor op te nemen in de brugconfiguratie van figuur 2.38. De weerstandsverhouding van de spanningsdeler, gevormd door R_1 en R_2 , bepaalt de referentiespanning (V_{REF}). Hiermee kunnen we het ijkpunt van deze meetomzetter vastzetten. Zijn R_1 en R_2 gelijk in waarde, dan zal de referentiespanning de helft van de voedingsspanning ($V_S/2$) bedragen. De thermistor zelf maakt ook deel uit van een tweede spanningsdeler: $R_{TH} + R_S$. Als de temperatuur verandert, dan zal R_{TH} ook wijzigen en bijgevolg vertaalt zich dat in een wijziging van V_{TH} . Afhankelijk van de waarde van V_{TH} zal de aangesloten OpAmp verschilversterker een positief of negatief ingangssignaal aangeboden krijgen. In plaats van een verschilversterker kunnen we ook een Schmitt-trigger toepassen voor een eenvoudige AAN/UIT-regeling.



△ Fig.2.38 | Omzetting naar een signaalspanning.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Op het eerste zicht lijkt dit een goede manier om temperatuur om te zetten in spanning. Maar er stelt zich een probleem als gevolg van het *joule-effect* wanneer we een te grote stroom jagen door de NTC-thermistor. Door het NTC-karakter bestaat de kans dat de component zichzelf opwarmt tot ontoelaatbaar hoge waarden. Uit ondervinding weten we dat weerstandsmaterialen opwarmen wanneer er stroom doorheen vloeit. De weerstandswaarde van de NTC-thermistor zal bij opwarming dalen met als gevolg dat de stroom sterker zal toenemen. Deze toenemende stroom ontwikkelt weer bijkomende warmte en het uiteindelijke gevolg is het zogenaamde 'Thermal Runaway' effect.

Door de waarde van de serieweerstand R_s juist te kiezen kan je dit thermisch-op-hol-slaan vermijden. Er stelt zich nog een tweede probleem. Doordat de NTC-thermistorcurve niet lineair verloopt, zal de spanning ook niet lineair toenemen of afnemen bij grote temperatuurvariaties.

Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** van **NTC**-thermistoren zijn:

- goedkoop
- eenvoudig
- kleine afmetingen
- snelle reactietijd

De voornaamste **nadelen** zijn:

- niet lineaire karakteristiek
- elektronische meetomzetter nodig
- 'self-heating' effect



2.3.3 Resistieve temperatuursensoren

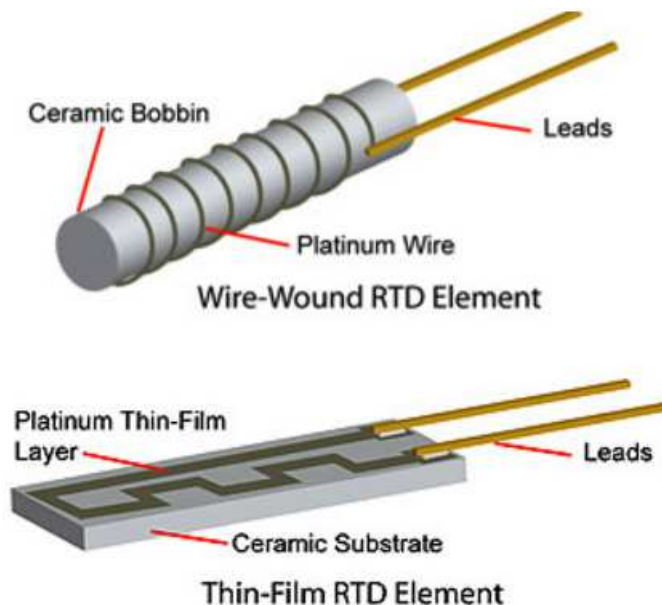
Eerder bespraken we de NTC-thermistor. Er bestaat nog een andere resistieve temperatuursensor maar dan met een PTC-karakter: de **Resistance Temperature Detector** kortweg **RTD**.

Principe

- **RTD's** zijn nauwkeurige temperatuurvoelers die vervaardigd zijn uit hoogwaardig geleidend metaal.
- Meestal gebruiken we hiervoor **platina** (Pt).
- Zoals bij de thermistoren is ook hier de elektrische weerstand afhankelijk van de temperatuur: een stijging van de temperatuur gaat gepaard met een **lineair** stijgende weerstandswaarde.
- Pt-RTD's vertonen dus een **PTC**-karakteristiek.

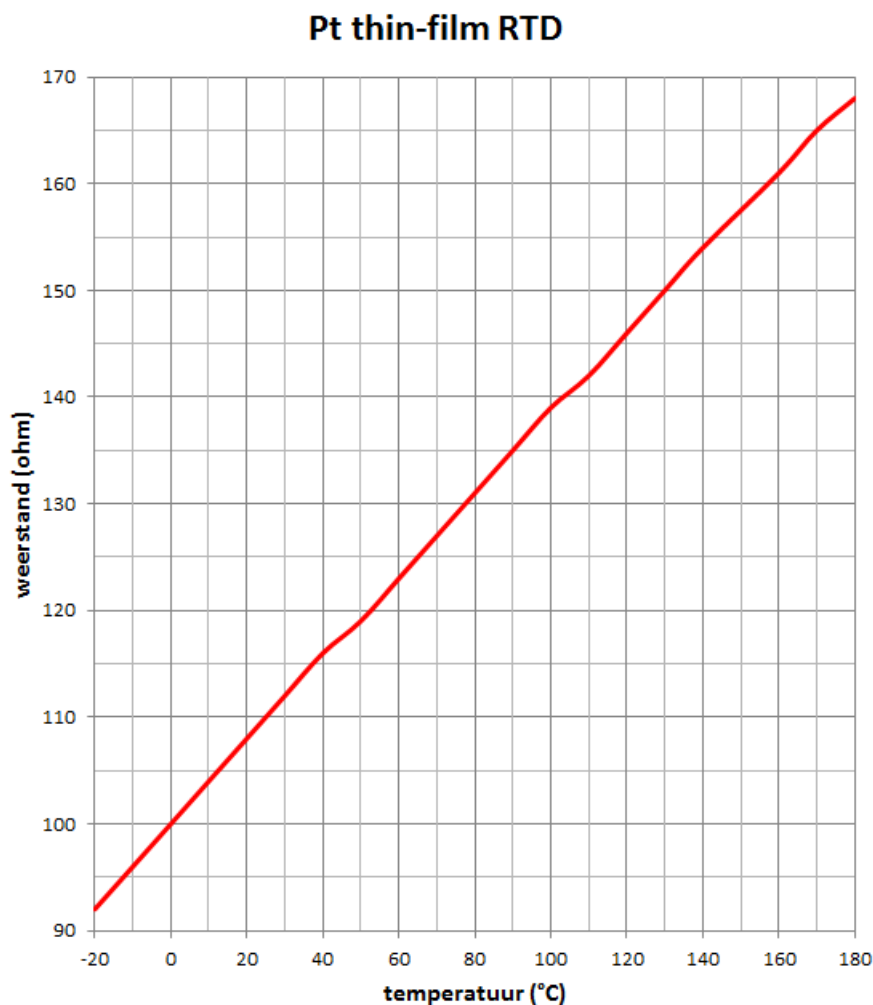


Naast de draadgewonden RTD-elementen winnen de zogenaamde 'thin-film' platina RTD's aan populariteit omwille van hun kleine afmetingen. Dit sensortype is gebaseerd op een dunne film van platinapasta die is aangebracht op een keramische onderlaag (substraat). Figuur 2.39 toont de typische opbouw van enkele platina weerstandsthermometers.



△ Fig.2.39 | Samenstelling van platina RTD's.
Bron: <https://www.designworldonline.com>

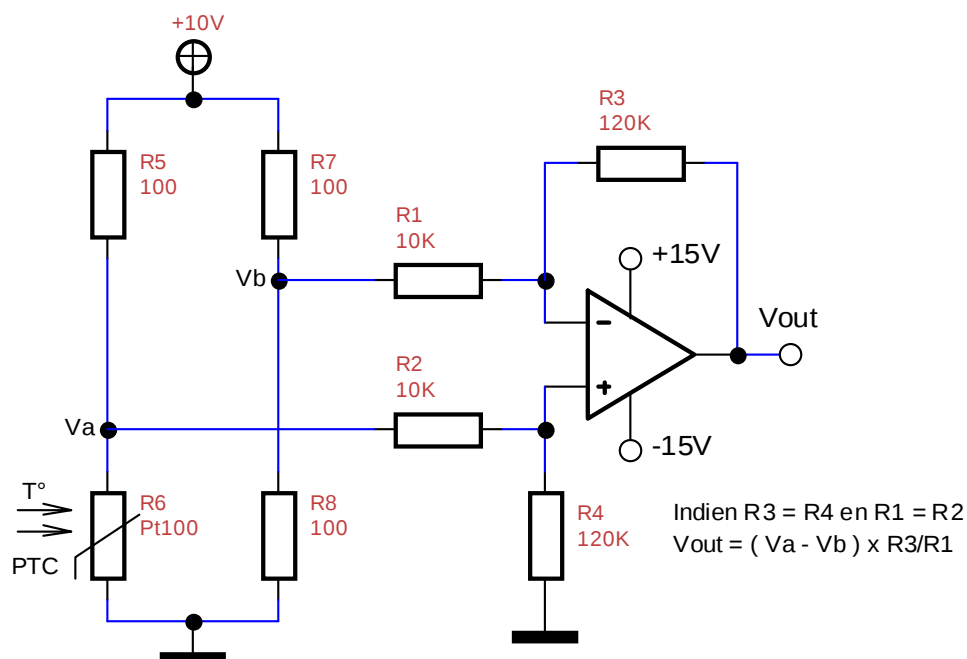
Platina weerstandsthermometers bezitten, in tegenstelling tot de thermistoren, een *positieve* temperatuurscoëfficiënt (PTC) en hun weerstandskarakteristiek verloopt extreem *lineair*. Ze zijn dan ook uitermate geschikt voor accurate temperatuurmetingen. Dit type sensor vertoont echter maar een bescheiden temperatuursgevoeligheid zodat meetomzetters noodzakelijk zijn om praktische uitgangssignalen te kunnen genereren. De gevoeligheid van een platinaweerstand is ongeveer 1 ohm per graad celcius.



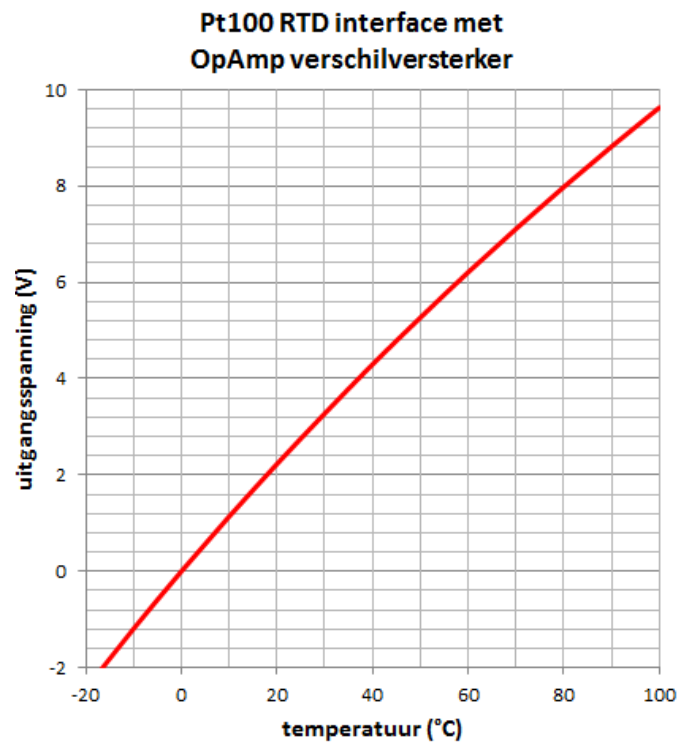
△ Fig.2.40 | Weerstandscurve van een Pt thin-film RTD.
Grafiek: W. Van Wichelen (Excel)

Een veel voorkomende RTD is de **Pt100-sensor** met een referentie weerstandswaarde van 100 ohm bij 0°C. Bij 100°C is de weerstandswaarde lineair toegenomen tot ca. 140 ohm. Pt100 sensoren zijn werkzaam tussen -200°C en +600°C.

Meestal zal de Pt100 RTD deel uitmaken van een weerstandsbrug gevolgd door een OpAmp verschilversterker om degelijke temperatuurmetingen te kunnen realiseren. Figuur 2.41 toont een voorbeeld van een interface met een Pt100 RTD.



△ Fig.2.41 Pt100 interface met OpAmp meetomzetter.
 Tekening: W. Van Wichelen (TinyCAD)



△ Fig.2.42 Uitgangsspanning Pt100 interface.
 Grafiek: W. Van Wichelen (Exel)

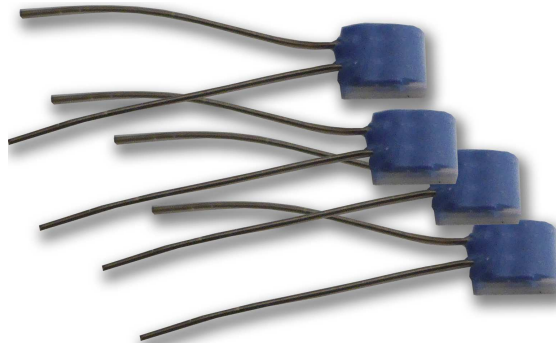
Voor- en nadelen

De voornaamste **voordelen** van een **Pt100** thin-film **RTD**:

- kleine afmetingen
- goede lineaire karakteristiek
- nauwkeurige temperatuurmeting mogelijk

De voornaamste **nadelen** zijn:

- beperkte temperatuurgevoeligheid (ca. $0.38\Omega/^{\circ}\text{C}$)
- elektronische meetomzetter nodig
- 'self-heating' effect
- duurder dan een thermistor



△ Fig.2.43 | Voorbeeld van een platina thin-film RTD.
Bron: <https://www.engineerlive.com>