

Thermistors voor reductie van gloeidraad-inschakelstroom.

E.H. Dooijes, januari 2009, revisie maart 2011

Bij de inspectie van een antieke Dictaphone Time Master bleek een thermistor gebroken te zijn. Deze thermistor dient om de inschakelstroom van de in serie geschakelde gloeidraden van de vier buizen te beperken. Als mogelijke vervanging heb ik er een paar thermistors met onvolledige gegevens uit de junkbox gevist. Hoe kun je de eigenschappen van zo'n thermistor vaststellen?

Een NTC-thermistor is een weerstand met grote, negatieve temperatuurcoëfficiënt. De volgende formule benadert goed genoeg voor praktische doeleinden de weerstand van een NTC thermistor:

$$R = A e^{\beta/T} \quad (1)$$

waarin A en β positieve constanten zijn die afhangen van de thermistor in kwestie.

T is de temperatuur van de weerstand in Kelvin.

Dat de temperatuurcoëfficiënt negatief is blijkt uit het - teken van

$$\frac{dR}{dT} = -\frac{A\beta e^{\beta/T}}{T^2}$$

De rustweerstand R_0 van de thermistor is de weerstand die we meten bij kamertemperatuur ($T_0 \sim 293 \text{ K} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), als er geen of verwaarloosbaar weinig stroom door loopt, zodat hij niet aan het opwarmen is. Bijvoorbeeld de meetstroom van een universeelmeter.

Volgens (1) is

$$R_0 = A e^{\beta/T_0} \quad \text{ofwel} \quad A = R_0 e^{-\beta/T_0} \quad (2)$$

We kunnen (1) dus herschrijven als

$$R = R_0 e^{(\beta/T) - (\beta/T_0)} \quad (3)$$

waarmee we de constante A vervangen hebben door de gemakkelijk te meten waarde R_0 .

Hoe nu β te bepalen? Daarvoor is een tweede meting nodig, bij een andere temperatuur T_1 .

Daarvoor moet je dus de thermistor tot T_1 opwarmen. Het lijkt het handigst is er een bekende stroombron I op aan te sluiten, zodat de thermistor zichzelf opwarmt.

Wacht tot de thermistor een constante temperatuur T_1 heeft bereikt, en meet dan de spanning V_1 erover. Nu is $R_1 = V_1/I$. We meten tevens de temperatuur T_1 van de weerstand met een infrarood-thermometer (Fluke type 62).

Uit (2) volgt nu dat

$$\beta = \log\left(\frac{R_0}{R_1}\right) \cdot \frac{T_1 T_0}{T_1 - T_0}, \quad (4)$$

en nu is ook A gemakkelijk te berekenen met behulp van (2).

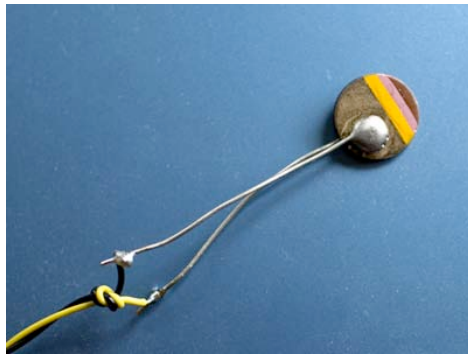
Voorbeeld: voor een gegeven thermistor (foto onder) vind ik:

bij $T_0 = 293 \text{ K}$ ($20 \text{ }^\circ\text{C}$) is $R_0 = 470 \ \Omega$ (wat klopt met de kleurcode);

bij $T_1 = 317 \text{ K}$ (stroom 77 mA) is $R_1 = 91 \ \Omega \rightarrow \beta = 6354 \text{ K}$;

bij $T_1 = 321 \text{ K}$ (stroom 93 mA) is $R_1 = 70 \ \Omega \rightarrow \beta = 6396 \text{ K}$.

De twee gevonden β waarden zijn binnen 0.5% gelijk, maar ze zijn onrealistisch hoog.



Datasheets van de diverse leveranciers laten zien dat de waarde van β meestal tussen 3000 K en 5000 K ligt, maar zeker niet hoger. De fout zit niet in de formules, maar in de manier waarop ik de temperatuur van de thermistor bepaald heb: namelijk door aan de buitenkant te meten. De thermistor is afgewerkt met een laagje kunststof (voor elektrische isolatie), waarover een behoorlijk temperatuurverval optreedt. Daarbij komen nog de meetfouten van de infrarood thermometer: de openingshoek daarvan is eigenlijk te groot voor zo'n klein testobject, zelfs als je de meter vlak bij houdt; en de vast ingestelde correctiefactor 0.92 voor de 'emissiviteit' van het te meten oppervlak zal te groot zijn voor de coating van de thermistor. Al deze foutoorzaken leiden tot een onderschatting van de werkelijke temperatuur. Bij een werkelijke temperatuur van $70 \text{ }^\circ\text{C}$ meet ik aan de buitenzijde slechts $50 \text{ }^\circ\text{C}$.

De juiste procedure is de thermistor in een bakje olie op te warmen tot de gewenste meettemperatuur, en dan met een universeelmeter de weerstand te bepalen, als die stabiel geworden is.



Temperatuurmeting met IR thermometer (links) en thermokoppel, onzichtbaar in de oude flessenwarmer waarin ik wat toevallig beschikbare siliconen-olie gedaan heb (rechts).

Voor dezelfde thermistor vind ik nu:

bij $T_1 = 313 \text{ K}$ is $R_1 = 212 \Omega$ -> $\beta = 3856 \text{ K}$;

bij $T_1 = 324 \text{ K}$ is $R_1 = 130 \Omega$ -> $\beta = 4081 \text{ K}$;

bij $T_1 = 333 \text{ K}$ is $R_1 = 94 \Omega$ -> $\beta = 4040 \text{ K}$;

bij $T_1 = 343 \text{ K}$ is $R_1 = 75 \Omega$ -> $\beta = 3777 \text{ K}$.

De waarden van β liggen nu rond het realistische getal 3900 K.

De fluctuaties in de metingen komen vooral doordat het wat moeilijk is vast te stellen of de olietemperatuur en de gemeten weerstand over langere tijd stabiel zijn.

Nu terug naar de toepassing.

Er zijn in de Time Master vier buizen: UCH42, UAF42, UL41, UL41, met in serie geschakelde 100 mA gloeidraden. Deze zijn via de NTC-thermistor op het net aangesloten. Omdat de gezamenlijke gloeispanning 116.6 V is, ga ik er van uit dat de bedoelde bedrijfsspanning 120 V was.

Bij elkaar is de gemeten weerstand van de koude gloeidraden 190Ω . In bedrijf $116.6/0.1 = 1166 \Omega$. Om de inschakelstroom te beperken tot omstreeks 0.1A hebben we dus een thermistor nodig die koud zo'n $1 \text{ k}\Omega$ en warm 34Ω is (bij 120 V netspanning).

Is de hierboven doorgemeten thermistor bruikbaar? De weerstand is koud 470Ω , zodat de inschakelstroom $120/660 = 0.18 \text{ A}$ is, bijna 2 maal de streefwaarde (ik heb geen gegevens kunnen vinden over de maximaal toelaatbare inschakelstroom van gloeidraden).

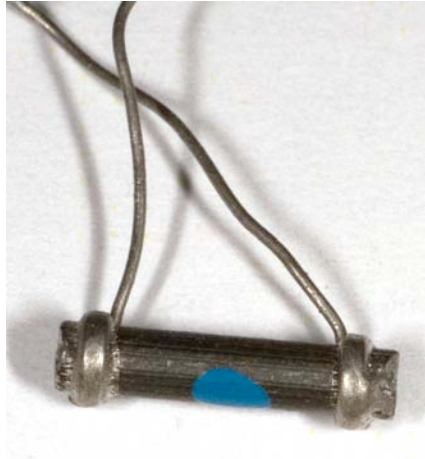


De nieuwe thermistor op zijn plaats (midden boven) in de Dictaphone versterker

Welke temperatuur moet de gegeven thermistor hebben opdat de weerstand 34Ω is? Dit is gemakkelijk uit te rekenen door in (3) de bekende waarden van T_0 , R_0 , R en β in te vullen. Het resultaat is $T = 365 \text{ K}$ of $92 \text{ }^\circ\text{C}$. Maar het is niet gezegd dat deze temperatuur/weerstand combinatie samengaat met een stroomdoorgang van 100 mA, zoals vereist voor de gloeidraden!

Om de bij de R/T combinatie behorende stroom te kunnen berekenen is het nodig de *dissipatieconstante* δ (delta) van de thermistor te kennen. Dat is de hoeveelheid (electrische) energie die per seconde extra aan de thermistor moet worden toegevoerd om - bij constante omgevingstemperatuur - de evenwichtstemperatuur van de thermistor met 1 graad te verhogen. De dissipatieconstante is in eerste benadering onafhankelijk van de thermistor temperatuur.

In het voorbeeld zou het opgenomen vermogen 0.34 W zijn, bij een stroom van 0.1 A en $R = 34 \Omega$.



Een exemplaar van dit oudere type thermistor zat oorspronkelijk in de Dictaphone. Maximum temperatuur 150 °C doordat er geen afdeklaag op is aangebracht; thermisch geïsoleerd door de omringende stilstaande (!) lucht. De aansluitdraden werden zo dun mogelijk gehouden om thermische lekkage naar de omgeving te minimaliseren. Lengte van het weerstandslichaam is 10 mm.

Bij een temperatuurverschil van $365 - 293 = 72$ K levert dat $\delta = 4.7$ mW/K, wat aardig klopt met gangbare waarden. De kans is dus groot dat de thermistor in kwestie 'het doet', en dat blijkt in de praktijk ook het geval te zijn: bij 120 V netspanning meet ik 7.7 V over de in de Dictaphone aangebrachte thermistor, de bedrijfsweerstand zal dus ongeveer 77Ω zijn.

De thermistor moet het opgenomen vermogen en de daarmee samenhangende eindtemperatuur wel aan kunnen! In datasheets staan maximale temperaturen van een schijf-thermistors tussen 100 en 120 °C, dus kennelijk zit ik safe wat betreft mijn toepassing.
