
Charakteristiky termistoru

Zadání

1. Změřte voltampérové charakteristiky termistoru ve dvou různých prostředích.
2. Pro obě prostředí určete závislost odporu na proudu, spočítejte proudový součinitel k .
3. Proveďte kalibraci termistoru jako teploměru.

Teoretický rozbor:

Termistory jsou polovodičové prvky, které se vyznačují výraznou závislostí odporu na teplotě. Změny odporů bývají u nich 5-krát až 50-krát větší než u kovů při stejném teplotním rozdílu. Podle průběhu jejich teplotní závislosti dělíme termistory na negativní a pozitivní. U negativních termistorů odpor s teplotou klesá, zatímco u pozitivních vzrůstá. Teplotní přírůstek odporu je tedy u negativních termistorů záporný, zatímco u pozitivních je kladný. Odtud se odvozují jejich názvy. Praktické využití termistorů závisí právě na průběhu jejich teplotní charakteristiky. Charakteristiky u negativních termistorů jsou hladké křivky. Proto nacházejí uplatnění především v měřicí technice. Užívá se jich nejčastěji jako teploměrů, ale též jako anemometrů k měření rychlosti proudícího media a pod. Naproti tomu charakteristika pozitivních termistorů vykazuje náhlý, až skokový, nárůst. Proto se uplatňují především jako automatizační prvky nebo v signalizačních zařízeních. Negativní termistory se vyrábějí převážně keramickými metodami z vhodné směsi kyslíčnicků kovů, zejména železa, kobaltu, niklu, titanu, manganu, barya a mědi. Základem pozitivních termistorů jsou Segnetovy soli.

Teplotní závislost odporu je u negativních termistorů vyjádřena přibližným vztahem

$$R_T = R_0 e^{-B\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)} \quad (1)$$

kde R_T znamená odpor při teplotě T a R_0 odpor při určité základní teplotě T_0 . Konstanta B je charakteristikou daného termistoru. Ve skutečnosti však mírně závisí na teplotě. Tato závislost se prakticky projeví až při sledování většího rozpětí teplot. Připomeňme ještě, že teploty se zde udávají v absolutní Kelvinově stupnici. Vzhledem k tomu, že se zaměřujeme jen na měření, vlastnostmi pozitivních termistorů se blíže zabývat nebudeme.

Charakteristiky termistoru

a) Teplotní součinitel odporu

Jako charakteristiku teplotní proměnlivosti definujeme u odporů teplotní součinitel odporu. Označujeme jej α a je dán vztahem

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT}. \quad (2)$$

Jeho pravou stranu poněkud upravíme. Z rovnice (1) vypočteme příslušnou derivaci odporu podle teploty a dosadíme ji do (2). Pro teplotní součinitel odporu termistoru dostaneme vztah

$$\alpha = -\frac{B}{T^2}. \quad (3)$$

Odtud vidíme, že velikost teplotního součinitele termistoru klesá s druhou mocninou jeho teploty. To znamená, že závislost odporu na teplotě musí s rostoucí teplotou konvergovat k určité konstantní hodnotě, jak je ostatně vidět i ze vztahu (1).

Jestliže termistor umístíme do látkového prostředí teploty T_0 a prochází-li jím proud, termistor se ohřívá Jouleovým teplem a v důsledku toho se jeho teplota zvyšuje nad teplotu prostředí. Jeho teplota se

posléze ustálí na takové hodnotě, aby vzniklá teplotní difference stačila k předání celého příkonu proudu (přeměněného v teplo) do okolí. Mezi teplotou termistoru T a teplotou prostředí T_0 platí vztah

$$T = T_0 + C_P P = T_0 + \frac{P}{D}, \quad (4)$$

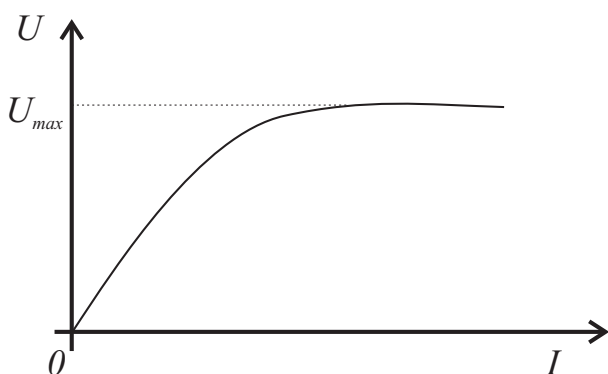
kde P je příkon proudu. Konstantu C_P nazýváme výkonovou citlivostí termistoru a její převrácenou hodnotu D zatěžovací konstantou. Obě tyto konstanty závisí jak na teplotě, při níž termistor pracuje, tak i na vlastnostech prostředí, tj. na jeho měrné tepelné kapacitě, tepelné vodivosti a pak zejména na součiniteli přestupu tepla mezi prostředím a termistorem.

b) Voltampérová charakteristika

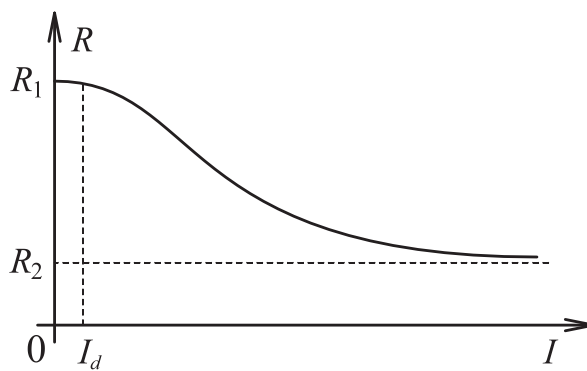
U každého elektrotechnického prvku se zpravidla udává jeho voltampérová charakteristika. Je to závislost napětí U , které se na prvku vytváří, na proudu I , který prvkem prochází, tedy funkce

$$U = f(I). \quad (5)$$

Její typický průběh u negativního termistoru ukazuje obr. 1. Křivka nabývá velmi nízkých hodnot v oblasti malých proudů. S rostoucím proudem zpočátku téměř lineárně vzrůstá, pak se vzrůst zpomaluje až křivka dosáhne svého maxima. Za ním nastává u některých termistorů mírný pokles a pak zase pomalý vzrůst, který je již trvalý.



Obr. 1: VA charakteristika



Obr. 2: $R(I)$ závislost

c) Závislost odporu na proudu

Čím větší proud termistorem prochází, tím více se termistor ohřívá nad teplotu okolí a jeho odpor klesá. Závislost odporu na proudu se obvykle popisuje přibližným vztahem

$$R = \frac{R_1 - R_2}{1 + k I^2} + R_2, \quad (6)$$

kde R_1 je počáteční hodnota odporu a R_2 je hodnota, k níž se odpor asymptoticky blíží s rostoucím proudem. Průběh závislosti odporu na proudu je znázorněn na obr. 2. Konstanta k , která v posledním vzorci vystupuje, se nazývá proudový součinitel a závisí též poněkud na teplotě. Její teplotní závislost však můžeme v praxi pominout a brát její hodnotu při odporu $R = \frac{R_1}{2}$ jako platnou pro celý rozsah teplot.

Protože v různých prostředích probíhá ochlazování různě, budou se voltampérové charakteristiky i odporové charakteristiky vzájemně lišit pro různá prostředí i když se zachová teplota prostředí.

Měření teploty termistorem

Pro každý termistor definujeme především jeho srovnávací odpor. Je to odpor při teplotě 25°C . Označme jej R_0 . Základní teplotě v rovnici (1) tak odpovídá hodnota $T_0 = 298\text{ K}$. Chceme-li pak termistorem měřit teplotu, stanovíme jeho odpor R , když je termistor v tepelné rovnováze s okolím a z rovnice (1) vypočteme příslušnou teplotu T .

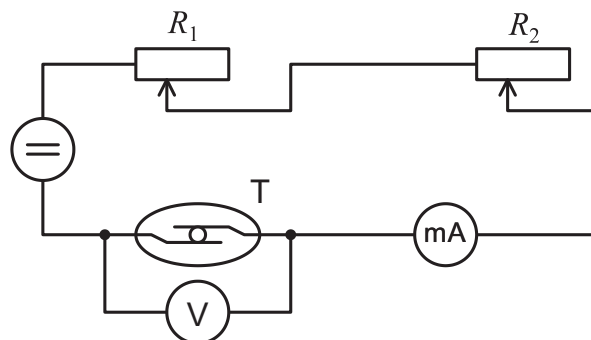
Má-li však být termistor v tepelné rovnováze s okolím, musí mít stejnou teplotu jako okolí. To by bylo ovšem možné jenom tehdy, kdyby jím neprocházel žádný proud. Průchodem proudem se totiž termistor vždy ohřeje nad teplotu okolí a tím se rovnováha naruší. Jestliže v tom případě vypočteme z rovnice (1) teplotu, dojdeme k nesprávnému výsledku. Na druhé straně však odpor termistoru bez průchodu proudem měřit nelze. Proto, chceme-li termistorem měřit teplotu, raději jej kalibrujeme. Kalibrace spočívá v tom, že v prostředí, ve kterém hodláme termistor použít, proměříme celou závislost jeho odporu na teplotě. Grafem této závislosti je kalibrační křivka termistoru. Při tom jsme si vědomi, že při kalibraci termistor neměl stejnou teplotu s okolím. Aby vlastní měření teploty termistorem bylo správné, musí při něm docházet ke stejnému zvýšení teploty termistoru nad teplotu prostředí jako při kalibraci. To znamená, že při měření odporu termistoru musíme užívat stejného proudy jako při jeho kalibraci. Teplotu pak stanovujeme z kalibrační křivky. Obvykle užíváme jak při měření odporu tak i při kalibraci termistoru konstantního proudy. Takto vytvoříme z termistoru tzv. jednoúčelový nebo individuální teploměr, který lze použít jen v daném prostředí a při proudy, při němž byl termistor kalibrován. V jiném prostředí bude vlivem jiného odvodu tepla z termistoru jeho kalibrační křivka jiná, stejně jako při kalibraci jiným proudem.

Z průběhu závislosti odporu na proudy v obr. 2 vidíme, že pracujeme-li s proudem velmi malým, menším než je jistá dovolená hodnota I_d , pak se hodnota odporu příliš neliší od hodnoty R_1 . Je to dáno tím, že při hodnotách proudy menších než je I_d totiž dochází jen k tak malému ohřátí termistoru nad teplotu okolí, že se vliv ohřátí nemůže projevit na hodnotě odporu termistoru. Kalibrací termistoru v libovolném prostředí s použitím proudy menšího než je I_d tak získáme kalibrační křivku platnou pro všechna prostředí. Takto vytvořený teploměr nazýváme univerzálním teploměrem.

Provedení experimentu

1. Měření voltampérové charakteristiky termistoru

Změříme závislost napětí na termistoru na proudy, který jím prochází. Při měření použijeme tzv. proudové regulace, kterou znázorňuje obr. 3. Odpor R_1 slouží k hrubé regulaci proudy, odpor R_2 pak k jemné regulaci. Napětí na termistoru měříme digitálním voltmetrem a proud v obvodu miliampérmetrem. Opravy na zapojení nejsou potřebné vzhledem k dostatečně vysokému vnitřnímu odporu voltmetru. Pro každou dvojici naměřených hodnot napětí a proudy vypočteme výkon proudy v termistoru. Nepřekračuje-li výkon maximální dovolenou hodnotu pro daný termistor, můžeme přikročit ke zvýšení proudy a k měření další dvojice hodnot. Z naměřených hodnot sestojíme křivku a určíme hodnoty $U_{\max}$ a $I_{\max}$. Při tomto měření uvažujeme pouze nejistoty typu B. Zjistíme je z údajů dodaných výrobcem k měřicímu přístroji. Měřené body vyznačíme v grafu křížkem, který bude tvořen úsečkami, jejichž délky budou rovny dvojnásobku velikosti nejistoty příslušné veličiny. Protože nás u charakteristiky zajímá zejména oblast malých proudů, provedeme zde měření po menších krocích než ve zbývajících části křivky.



Obr. 3: Proudová regulace

2. Stanovení závislosti odporu na proudu

Z hodnot U a I naměřených v předchozím bodě vypočteme odpory $R = \frac{U}{I}$ a vykreslíme křivku $R = R(I)$ podle obr. 2. Z ní pak určíme hodnoty R_1 , R_2 , I_d a hodnotu proudového součinitele k pro hodnotu odporu $R = \frac{R_1}{2}$ pro všechna prostředí, v nichž měření proběhlo.

3. Kalibrace termistoru jako teploměru

Termistor umístíme do termostatu a budeme jej postupně zahřívat. V pravidelných intervalech budeme měřit teplotu a odpor termistoru. K měření odporu termistoru použijeme napěťového převodníku odporu. Ten užívá k měření konstantního proudu, který je závislý jen na rozsahu přístroje. Takto provedenou kalibraci získáváme obecně individuální teploměr.

Pro dovolený proud termistoru platí empirický vztah

$$I_d = \sqrt{\frac{D}{R}} \times 10^{-4}, \quad (7)$$

kde D zatěžovací konstanta termistoru v $\text{mW} \cdot \text{K}^{-1}$ a R odpor termistoru v Ohmech. Ze zadaných údajů pro daný termistor vypočteme I_d . Z údajů o napěťovém převodníku zjistíme proud, při němž měření odporu probíhalo a rozhodneme, zda jsme kalibrací vytvořili individuální nebo univerzální teploměr. O tom, zda jsme vytvořili individuální nebo univerzální teploměr, můžeme rozhodnout i z tvaru křivek závislosti odporu na proudu. Když jejich průběhy v oblasti malých proudů prakticky splývají, chová se soustava termistor-převodník jako univerzální teploměr, jestli se průběhy liší, tvoří teploměr individuální.