

DYNAMICKÝ MODEL TERMOSTATU S PEVNÝM TEPLONOSNÝM MEDIEM

Gunnar Künzel, Miloslav Linda

Abstract

V referátu je uvedena analýza sestavy maloobjemového termostatu s vysokým činitelem stabilizace. Uvažovaný termostat je určen pro nastavování teplot pasivních a aktivních elektronických prvků a ověřování jejich teplotních závislostí. Využívá teplotní vodivosti kovových materiálů. Termostatované objekty musí mít co nejdokonalejší teplotní styk s blokem termostatu, který je udržován na konstantní teplotě pomocí regulační smyčky se zápornou zpětnou vazbou.

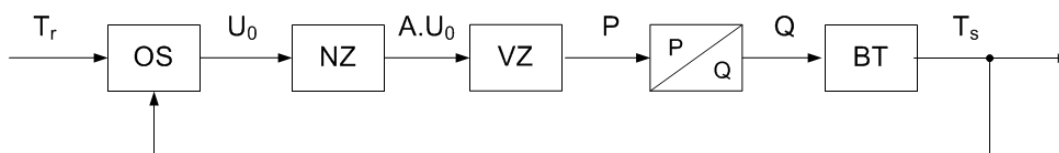
1 Úvod

Cílem vytvořeného modelu je ověření technických požadavků, kladených na konstrukci a chování termostatu.

- Požadovaná teplota uvnitř bloku termostatu – 30 – 70 °C;
- dlouhodobá stabilita teploty v termostatu (za 24 hodin) $\pm 0,04$ °C;
- krátkodobá stabilita teploty (za 30 minut) , lepší než $\pm 0,02$ °C;
- činitel stabilizace η , definovaný jako poměr změny teploty okolí ke změně teploty termostatovaného prostoru - $\eta \geq 2000$.

2 Materiál a metody

Celkové uspořádání regulační smyčky je uvedeno na obr. 1.



Obrázek 1 Blokové schéma termostatu

OS – obvod senzoru teploty. Rozdíl $\Delta T = T_r - T_s$ mezi referenční (požadovanou) a skutečnou teplotou bloku termostatu se transformuje na elektrické napětí;

NZ – stejnosměrný zesilovač chybového napětí U_0 (případně dvupolohový nebo spojitý regulátor typu PI nebo PD);

VZ – výkonový zesilovač, který převádí zesílené chybové napětí na topný elektrický výkon P;

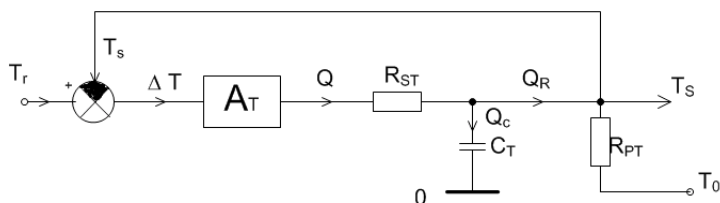
P/Q – vyhřívací elementy, transformující elektrický výkon P na tepelný výkon (tok) Q;

BT – vlastní blok termostatu, vytápěný tepelným tokem Q.

3 Výsledky a diskuze

Matematický popis termostatu

Analýza vede na zjednodušený náhradní obvod termostatu, který zahrnuje jak elektrické, tak tepelné obvody.



Obrázek 2 Náhradní obvod termostatu

Blok OS (např. platinový senzor teploty, zapojený do Wheatstoneova můstku) je v prvním přiblížení chápán jako statický lineární člen. Pro přesnější výpočet je ovšem třeba uvažovat též časovou konstantu senzoru teploty, která určuje jeho dynamiku. Blok NZ lze v širším smyslu považovat za řídicí člen – regulátor, který může být navržen jako spojitý nebo dvoupolohy.

Obvod senzoru teploty OS vyhodnocuje rozdíl ΔT mezi skutečnou (2) teplotou T_s stabilizovaného prostoru a požadovanou (1) teplotou (referenční) T_r dle rovnice

$$\Delta T = T_r - T_s \quad (1)$$

Měřicí můstek v jehož jedné větvi je zapojen platinový odporový senzor transformuje s konstantou zesílení K_M teplotní regulační odchylku ΔT na proměnné stejnosměrné napětí.

Blok označený na obr. 2 jako A_T v sobě zahrnuje statické vlastnosti členů NZ, VZ, P/Q z blokového schématu dle obr. 1 a představuje celkové zesílení v regulační smyčce. Regulační odchylku ΔT zesílení A_T krát a transformuje ji na tepelný tok Q , pro který platí

$$Q = A_T \cdot \Delta T \quad (2)$$

Tepelný tok teče do tepelné kapacity bloku C_T , kde se akumuluje a část tepla odchází přes izolační tepelný odpor R_{PT} do okolí s teplotou T_0 . R_{ST} je sériový tepelný odpor mezi topnými elementy, zdrojem tepla a místem, kde je umístěn teplotní senzor. Teplotu na kapacitě C_T vztahujeme k absolutní teplotní nule, nikoliv k teplotě okolí. Ve skutečnosti je náhradní ekvivalentní obvod dle obr. 2 složitější, neboť mezi tepelným tokem Q , kapacitou C_T a teplotním senzorem, jsou ještě další tepelné RC členy, které do jisté míry ovlivňují dynamické vlastnosti termostatu. Statické vlastnosti však ovlivněny nejsou.

Při kvantitativním popisu vlastností regulačního obvodu termostatu je třeba definovat používané fyzikální veličiny a jejich jednotky (viz tab.1)

Tabulka 1 Používané fyzikální veličiny.

Název veličiny	Označení	Jednotka	Poznámka
Teplota a její rozdíl	$T; \Delta T$	[°C, K]	
Tepelný tok	Q e P	[W]	P [W] je elektrický příkon přiváděný na topné elementy
Tepelná kapacita tělesa (bloku)	$C_T = M \cdot c$	[JK]	Schopnost tělesa akumulovat tepelnou energii
Hmotnost tělesa	C	[Jkg ⁻¹ K]	
Tepelný odpor	R_T	[KsJ ⁻¹]	Určuje teplotní spád vznikající při průchodu tepelného toku
Celkové zesílení regulační symčky	A_T	[WK ⁻¹]	
Činitel stabilizace termostatu	$\eta = \frac{\Delta T_0}{\Delta T_s}$	[-]	Určuje kvalitu regulačního systému termostatu
Časová konstanta tepelného obvodu	$\tau = R_T C_T$	[s]	Určuje rychlost nárůstu nebo poklesu teploty bloku

Dynamické vlastnosti termostatu lze získat řešením náhradního obvodu dle obr. 2. Tepelný tok Q pochází též přes tepelnou kapacitu C_T a přes izolační tepelný odpor do okolí dle rovnice.

$$Q = Q_c + Q_R \quad (3)$$

Dílčí tok Q_c je dán vztahem

$$Q_c = c_T \cdot \frac{dT_s}{dt} \quad (4)$$

Pro tepelný tok Q_R přes izolační odpor platí

$$Q_R = \frac{T_s - T_0}{R_{PT}} \quad (5)$$

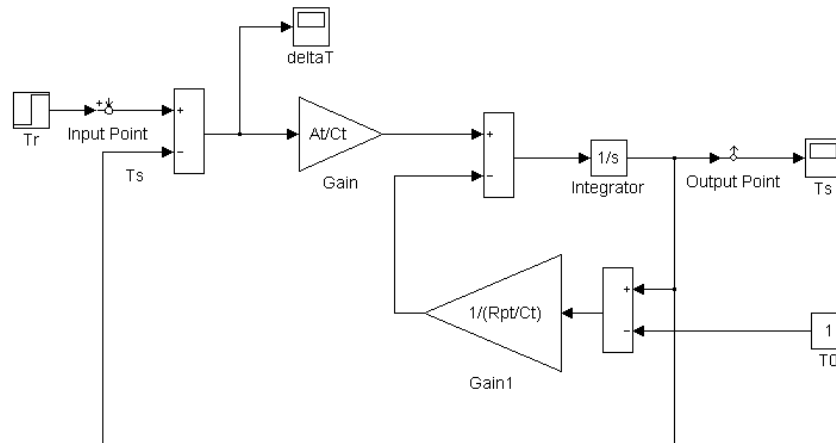
Z rovnice (1) plyne pro skutečnou teplotu T_s vztah

$$T_s = T_r - \Delta T \quad (6)$$

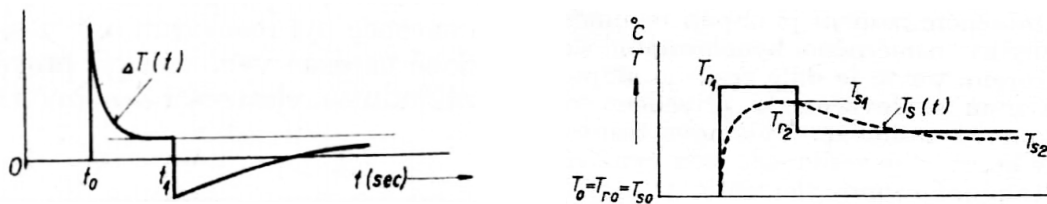
Dosadíme-li do rovnice (3) vztahy (2), (4), (5) a (6) máme po úpravě rovnice.

$$\frac{d\Delta T}{dt} + \frac{1 + A_T R_{PT}}{C_T R_{PT}} \Delta T = \frac{T_r - T_0}{c_T R_{PT}} + \frac{dT_r}{dt} \quad (7)$$

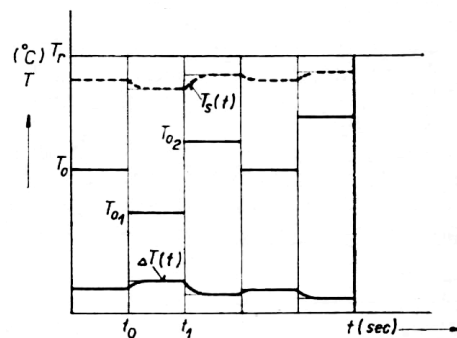
Matematický popis tedy vede na diferenciální rovnici I. ř, kterou řešíme pro vybrané parametry v prostředí MATLAB – Simulink. Získáme tak přechodové charakteristiky modelu termostatu při skokové změně referenční teploty nebo změny teploty okolí. Lze též určit optimální parametry tak, aby byla splněna požadovaná kritéria pro konstrukci termostatu.



Obrázek 3 Model termostatu v prostředí MATLAB – Simulink.



Obrázek 4 Možné tvary přechodových charakteristik při skokové změně referenční teploty.



Obrázek 5 Přechodová charakteristiky na skokové změny teploty okolí termostatu.

4 Závěr

Dynamické vlastnosti termostatu jsou d označné míry dány kapacitou bloku a svodovým tepelným odporem. Termostat reaguje různě na změny referenční teploty a teploty okolí. Jestliže je T_r

> T_0 a teplota T_0 se mění, reaguje termostat poměrně rychle s redukovanou časovou konstantou. Redukovaná časová konstanta je v praxi poměrně krátká (desítky vteřin až minut). Složitěji reaguje systém termostatu na změny referenční teploty, jestliže je derivace změn kladná, sleduje skutečná teplota tyto změny rychle s redukovanou časovou konstantou. Naopak zmenšuje-li se referenční teplota, reaguje systém podstatně pomaleji. Ustálení skutečné teploty a regulační odchylky se řídí časovou konstantou τ_a , která může být až několik hodin.

Výsledky simulačního modelu termostatu v různých teplotních podmínkách budou prezentovány na konferenci.

Poděkování

Poznatky prezentované v tomto článku byly získány při řešení grantu IGA ČZU v Praze č. 31200/1312/3124 „Návrh, konstrukce a realizace snímačů teploty v tepelné diagnostice strojů“.

Literatura

- [1] WOODWARD, W. S. Stabilní a dobře nastavitelný termostat. Sdělovací technika č. 7/1998, str. 30.
- [2] Analog Devices, Katalogový list, Termostat programovatelný jediným rezistorem. Sdělovací technika č. 12/1996, str. 31.
- [3] DEVI, Firemní informace, Myslicí termostat Deviheat 500, Elektrotechnika v praxi, č 9-10, 1999, str. 86.

Ing. Gunnar Künzel, Česká zemědělská univerzita Praha, Technická fakulta, katedra elektrotechniky a automatizace, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol

Ing. Miloslav Linda, Česká zemědělská univerzita Praha, Technická fakulta, katedra elektrotechniky a automatizace, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol