

PRECISION THERMOREGULATOR

Petr SNOPEK, Bachelor Degree Programme (3)
Dept. of Radio Electronics, FEEC, BUT
E-mail: xsnope02@stud.feec.vutbr.cz

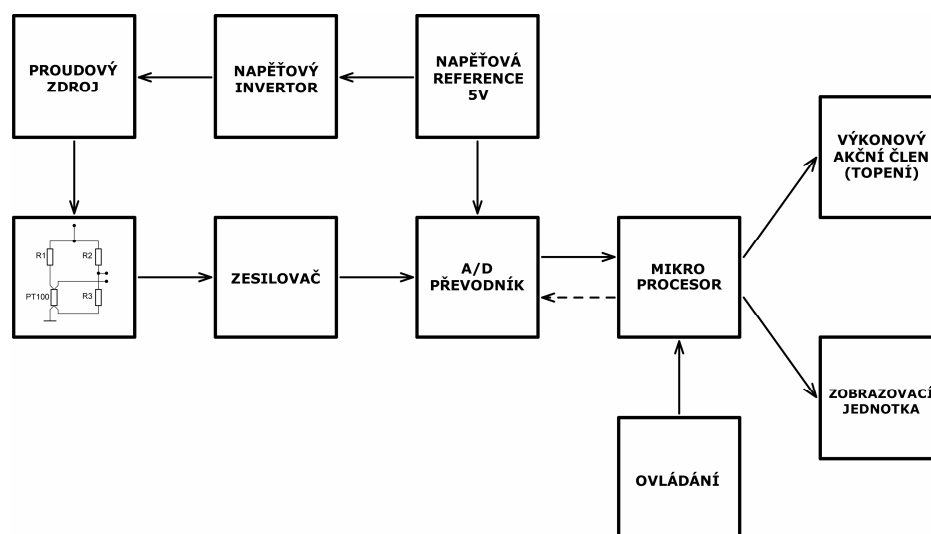
Supervised by: Dr. Zdeněk Kolka

ABSTRACT

This project finds possible solution of design precision thermoregulator. Design puts the accent on correct selection and application method of temperature sensor and circuit elements with low offset (amplifiers) and low noise. Everything is with respect to minimum inaccuracy circuit modules. Platinum resistance temperature detector (PRTD) is used as pattern sensor because of many advantages of pure platinum. This work also considers most suitable solution of sensor's nonlinearity and temperature momentum load.

1 ÚVOD

Úkolem mé práce bylo zhotovit přesný a především teplotně i časově stabilní regulátor teploty pro měření širších intervalu teplot s konstantní chybou blížící se k $\pm 0,1$ °C. A od této skutečnosti se odvíjel veškerý návrh, výběr součástek a použitá konstrukční řešení. V návrhu se rovněž vykytuje řešení problému tepelné setrvačnosti spínané výkonové zátěže a její ošetření v programu řízení.



Obr. 1: Blokové schéma zapojení termostatu s platinovým teplotním senzorem

2 ROZBOR

2.1 TEPLOTNÍ SENZOR

Prvotním předpokladem přesného odečtu teplot a následné regulace je správný výběr teplotního čidla. Byl vybrán platinový odporový teplotní senzor, který vykazuje dostatečně velkou přesnost a stabilitu pro měření velkých intervalů teplot. Díky vlastnostem platiny patří mezi největší výhody tohoto senzoru tabulkově definovaný elektrický odpor odpovídající průběhu polynomu 2. řádu a definovaná přesnost pro všechny měřené teploty.

Velká časová stabilita a chemická netečnost umožňují velmi přesné odhady chyb v celém rozsahu působnosti teplotního čidla. Pro kategorizaci do tříd přesnosti je stěžejním parametrem čistota použité platiny. Vysokým procentuelním zastoupením čistého kovu lze dosáhnout hranice přesnosti $\pm 0,01$ °C.

2.2 LINEARIZACE

Jak bylo uvedeno, platinové teplotní čidlo nemá lineární závislost. A tato odchylka se viditelně projeví již při měření malých intervalů. Možnosti jak těmto nepřesnostem zabránit jsou v podstatě dvě: použití zpětnovazebního obvodu linearizující napěťový průběh, popř. IO přímo k tomu účelu určenému. Takováto zapojení ale vnášejí do měření zbytečnou chybu a nebo jsou, v případě IO příliš drahá. Lepší volbou je zpracovávat signál v nezměněném tvaru a linearizovat ho až pomocí programu mikroprocesoru.

Podmínkou pro linearizaci je přesné změření alespoň dvou hodnot napětí pro určité teploty. Dvě odečtená napětí se uloží do registru společně s rovnicí vyjadřující průběh PRTD a jakákoliv nová přicházející hodnota bude mikroprocesorem nejprve podle této rovnice přepočítána. Samotný přepočet průběhu polynomu 2. řádu využívá Newtonovy iterační metody o dostatečném počtu opakování. Dobře zvolenou linearizací lze dosáhnout odchylky menší jak 0,001 °C od lineárního průběhu.

2.3 ANALOGOVÝ OBVOD

Návrh zapojení podporuje velkou přesnost platinového čidla. Přesnost ostatních součástek je volena tak, aby odchylky od jejich ideálních parametrů byly co možná nejmenší a v porovnání s chybou platinového senzoru zanedbatelné.

Teplotní senzor je zapojen čtyřbodově do Wheatsonova můstku. Čtyřbodové nebo také nazývané čtyřsvorkové zapojení, pro oddělené napájení a měření, zmenšuje chybu vzniklou nezanedbatelným odporem přívodních vodičů. S předpokladem, že el. odpor PRTD se s teplotou zvyšuje jen velmi pozvolna ($0-100$ °C $\approx 38,5$ Ω), tak byť i nepatrná odchylka od nominální hodnoty se po následném zesílení ve značné míře objeví i na výstupu.

Požadavky malého offsetu zesilovacích prvků, nízké hladiny prahu šumu tvořeného především poměrem tepelných šumů a vysoká míra stability v teplotě i v čase by měly být samozřejmostí. Hodnota nepatrně vyššího offsetu však není na závadu, neboť se kompenzuje kalibrací v poslední fázi konstrukce (oživování). Pro výslednou přesnost je pak výhodnější použít raději méně součástek a vyvarovat se složitějších zapojení. Důvodem jsou neideální vlastnosti každého obvodového elementu, který je zdrojem nepřesností, a pro popisovaný návrh části pro měření teploty, s převahou nežádoucího šumu a nestability. Vhodné je použití integrovaných obvodů, mnohé nahrazující celá zapojení obvodových součástek a to s

presností, kterou v běžných podmínkách jen stěží dosáhneme. U preciznějších IO se u pasivních prvků výrobci chlubí označením: „laser trimmed“ a k zajištění vysoké stability v čase se podrobují tzv. umělému stárnutí, kdy jsou opakovaně vystavovány velkým výkyvům teplot.

Pro zapojení je potřeba více napěťových referencí (pro napájení proudového zdroje a A/D převodníku). Přímo je tedy možné použít jen jednu referenci a obvody využívající její referenční hodnoty zapojit tak, aby se referenční chyba ve výsledku alespoň částečně kompenzovala poklesem či přírůstkem přenosů $K(-)$ jednotlivých zesilovacích prvků v obvodu a to bez znatelného projevu na výstupu.

2.4 A/D PŘEVOD

Posledním článkem který může ovlivnit přesnost celého měření je A/D převodník. Není až tak důležitá rychlost, ale spíše bitová hloubka převodů a nízká hladina kvantizačního šumu. S přihlédnutím na cenu, těmto požadavkům nejlépe vyhovují A/D převodníky typu Σ - Δ pracující na principu zpětnovazebního integrátoru. Měřenému intervalu teplot odpovídá také bitová hloubka převodu, která je volena tak, aby teplotní rozdíl mezi dvěma vzorky nebyl větší než je absolutní chyba teplotního senzoru a kompenzačních obvodů. To odpovídá alespoň 12 bitům pro interval menší než 40 °C, pro větší rozsah teplot 16 bitů ale i více.

2.5 TEPELNÁ SETRVAČNOST ZÁTĚŽE

Pokud se pomocí ovládacích prvků definuje interval hystereze termostatu, předpokládáme, že se regulovaná teplota bude vyskytovat právě v tomto intervalu hodnot. Může ale dojít k tomu, že se vlivem velké tepelné setrvačnosti výkonového akčního členu (topení) teplota regulovaného prostředí bude zvyšovat i po vypnutí napájení topení. Tuto nežádoucí vlastnost je třeba řešit pomocí programového vybavení mikroprocesoru a to častějším odečtem a vyhodnocováním měřených hodnot právě ke konci definovaného intervalu teplot - horní meze hystereze. Program je nastaven tak, aby vypnul spojitě napájení topení ještě před vrchním bodem intervalu hystereze, ne až přímo na něm. Pak se již teplota zvyšuje spínáním akčního členu krátkými diskrétními impulsy, a to do té doby, než dosáhne k hornímu bodu hystereze, kde se nakonec napájení topení definitivně přeruší.

3 ZÁVĚR

Dbáme-li předešlých návrhových doporučení, lze vyrobit velmi přesný teplotní termostat, jehož maximální odchylka od měřené hodnoty je dána především specifikací teplotního senzoru. Pak již k výraznějšímu zpřesnění může dojít pouze při použití platinového čidla s vyšší jakostí. Využití tohoto termostatu je pak mnohostranné, ať už se jedná o laboratorní účely či ke kalibraci méně přesných teplotních senzorů.

LITERATURA

- [1] Kester, W., Bryant, J., Jung, W.: Op Amp Applications, Section 07: Temperature sensors, Analog Devices Technical Bookstore, U.S.A., 1999, s. 7.01 – 7.39
- [2] Baker, B.: Temperature Sensing Technologies, Microchip Technology Inc., 2002
- [3] Kreidl, M.: Měření teploty – senzory a měřící obvody, Praha, BEN – technická literatura, 2005