

JEDNODUCHÁ PROGRAMOVÁ REGULACE PECÍ

JOSEF DAŘBUJAN, ZDENĚK ŠOLC, MIROSLAV TROJAN

Katedra anorganické technologie, Vysoká škola chemicko-technologická, Pardubice 532 10

Došlo 4. 12. 1986

Popisovaný adaptér je použitelný u všech pecí vybavených dvoupolohovou regulací konstantní teploty a termočláňkovým měřidlem (čidlem) teploty. Zapojuje se do série tohoto termočláňku (obvykle PtRh 10—Pt, Ni—NiCr); v tomto obvodu pak generuje zvolenou rychlostí „chybové“ napětí, které se k regulačnímu termočláňku přičítá nebo odečítá. Tak lze dosáhnout lineárního růstu, nebo naopak poklesu termoelektrické síly regulačního termočláňku zvolenou konstantní rychlostí, a tedy i přibližně lineárního růstu, nebo poklesu teploty pece. Adaptér tak rozšiřuje použití komerčních pecí i pecí konstruovaných individuálně o možnosti naprosto reprodukovatelného ohřevu, nebo chlazení zvolenou rychlostí prakticky lineárním programem.

ÚVOD

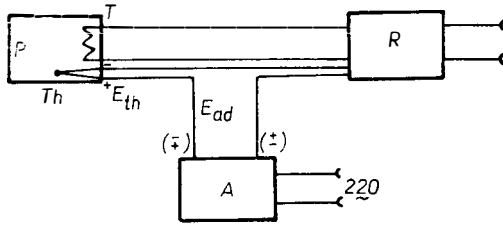
Při mnoha výzkumných i technologických pochodech je požadován řízený ohřev nebo chladnutí pece konstantní rychlostí k předvolené teplotě a výdrž při ní. V praxi se to řeší speciálními regulátory se zpětnou vazbou; ty jsou ovšem konstrukčně složité, nákladné a často komerčním pecím nestačí výkonově (např. zařízení Chinotherm dodávaná z MLR). Nouzovým řešením pak někdy bývá ruční přestavování regulátoru komerční pece v krátkých pravidelných časových intervalech.

Popsané zařízení je v podstatě adaptérem použitelným u všech pecí, resp. jiných zařízení, vybavených dvoupolohovou regulací konstantní teploty a termočláňkovým měřičem (čidlem) teploty. Je jednoduché, malé a snadno realizovatelné z běžných součástek.

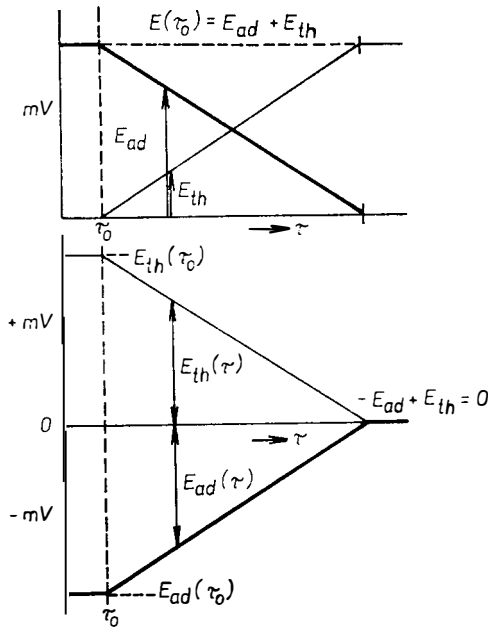
Princip jeho činnosti spočívá v generování časově proměnného chybového napětí, které se zvolenou rychlostí rovnoměrně snižuje a přičítá se nebo odečítá k napětí termočláňku. Označíme-li napětí termočláňku E_{th} , napětí generované adaptérem E_{ad} a napětí odpovídající na regulátoru pece nastavené teplotě jako $E(t_0)$, platí neustále $E_{th} \pm E_{ad} = E(t_0)$. Znaménko $+$ platí pro růst teploty. Pro pokles teploty se změní polarita chybového napětí adaptéru a platí podmínka se záporným znaménkem.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

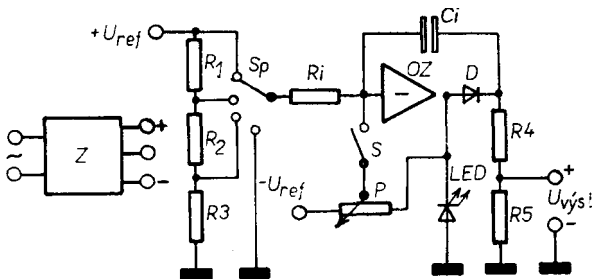
Adaptér je polovodičovým zdrojem napětí, které se nastavitelnou rychlostí snižuje k nule, kde se zastaví. Při regulovaném vzrůstu teploty se adaptér zařazuje do série s termočláňkem regulované pece tak, že se napětí E_{th} a E_{ad} sčítají. Pro snižování teploty je adaptér zapojen v sérii, ale proti termočláňku (polarita je uvedena v závorce). Zapojení je na obr. 1. Oba případy rovnoměrné změny teploty jsou schematicky znázorněny na obr. 2. Na obr. 2a (případ zvyšování teploty) je pokles E_{ad} dorovnáván periodickým zapínáním pece, a tedy zvyšováním skutečné teploty v peci, měřené termočláňkem (E_{th}). Obdobně je tomu při snižování teploty (obr. 2b).



Obr. 1. Schéma zapojení adaptéru pro vzestup (sestup) teploty. P — pec, T — obvod topení, Th — termočlánek, R — regulátor konstantní teploty, A — adaptér.



Obr. 2. Časový průběh napětí E_{th} a E_{ad} při řízeném růstu teploty (a), poklesu teploty (b).



Obr. 3. Funkční schéma adaptéru.

Základní schéma adaptéru je na obr. 3. Základem je integrátor z invertujícího operačního zesilovače OZ , vstupního rezistoru R_i a integračního kondenzátoru C_i ve zpětné vazbě. Dělič z rezistorů $R_{1,2,3}$, napájený z kladného referenčního napětí a připojený přepínačem S_p na vstupní rezistor R_i integrátoru, zajišťuje definované rychlosti snižování napětí na výstupu integrátoru. Spínač S připojuje invertující vstup OZ k potenciometru P pro nastavení počátečního napětí na výstupu integrátoru. Tento potenciometr je připojen mezi záporné referenční napětí a výstup OZ . Dioda D , připojená anodou k výstupu OZ a katodou k výstupnímu děliči z rezistorů R_4 a R_5 , zajišťuje po průchodu výstupního napětí integrátoru nulou do záporných hodnot odpojení výstupního děliče, tj. nulové napětí na výstupu adaptéru na konci vzestupu (sestupu) teploty. Svitivá dioda LED indikuje záporné napětí na výstupu OZ , tedy konec vzestupu (sestupu) teploty. Napájení všech obvodů je provedeno zdrojem se symetrickým napětím ± 10 V až 18 V.

Pro konstrukci integrátoru je třeba použít integrovaný obvod OZ s vysokým vstupním odporem, kvalitní integrační kondenzátor C_i , podrobený kontrole či výběru, a uzel na vstupu OZ musí být dokonale chráněn před proudovými svody ze sousedních součástek. Jen tak lze dosáhnout parazitní časové konstanty několika dní, a tím i dostatečnou linearitu a přesnost při vzestupech (sestupech) teploty déle než 10 h. Jako operačního zesilovače lze použít např. obvod MAC 155 nebo WSH 220 s kondenzátorem hodnoty $1 \mu\text{F}$ typ TC 279, jako R_i typ TR 142 1 G. Odpory $R_{1,2,3}$ atd. jsou přesné a jejich počet a hodnoty určují počet a hodnoty volitelných rychlostí programované změny. Navržený adaptér byl podán jako zlepšovací návrh na VŠCHT v Pardubicích pod č. ZN 33/1986. Adaptér je na katedře používán u všech typů pecí firmy Elektrobad Frankenhauseu a u pecí konstruovaných individuálně (laboratorní trubkové pisky) s regulátory typu Zepaphot. Postup nastavení spočívá v těchto krocích:

- a) na regulátoru pece se nastaví maximální teplota;
- b) při sepnutém spínači S_p se nastaví potenciometrem počáteční výstupní napětí adaptéru tak, aby regulátor pece právě vypínal;
- c) po nastavení požadované rychlosti změny teploty se S_p rozpojí, čímž se odstartuje zdroj generující chybové napětí adaptéru.

DISKUSE

Nelinearita vzestupu či sestupu teploty je určena vlastnostmi termočlásku, tedy jen nelinearitou funkce $E_{th} = F(t)$. Plynulost zápisu teploty je ovlivněna dynamickými vlastnostmi dvoupohové regulace pece a umístěním regulačního termočlásku. Použije-li se termočlásku umístěného volně v prostoru mufle (tak jak to u komerčních pecí je), vykazuje záznam např. vzestupu teploty zvlnění max. 5°C při rychlostech 2 až 10 K min^{-1} v rozsahu teplot do 1200°C . Použije-li se však k regulaci a k připojení adaptéru termočlásek zasunutý blíže k topnému vinutí na mufli pece a teplota pro záznam nebo měření se snímá jiným termočláskem, zasahující do prostoru mufle, je vzestup naprosto plynulý a bez nejmenšího zvlnění.

ПРОСТОЕ ПРОГРАММНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПЕЧЕЙ

Йозеф Даржбуян, Зденек Шолыц, Мирослав Троян

*кафедра неорганической технологии Химико-технологического института,
532 10 Пардубице*

Регуляторы обычных лабораторных печей работают в двух позициях и поэтому с их помощью можно удерживать только установленную постоянную температуру. Для обеспечения воспроизводимых условий обжига оказывается пригодным дополнить приводимое регулирование еще воспроизводимым линейным нагревом (подъем температуры) или также охлаждением печи. Описываемый регуляционный адаптер подключен серийно с помощью регуляционного термоэлемента печи (рис. 1) и генерирует при помощи избираемой скорости „ошибочное“ напряжение E_{ad} , которое прибавляется (при подъеме температуры) или вычитается (при понижении температуры) из напряжения термоэлемента E_{th} таким образом, чтобы постоянно действовало $E_{th} + E_{ad} = E(t_0)$ (см. рис. 2а, б). Положительный знак + относится к нагреву, отрицательный знак — к охлаждению, $E(t_0)$ — окончательная температура (при охлаждении $E(t_0) = 0$).

Принципиальная схема адаптера находится на рис. 3. Основой является операционный усилитель OZ высокого входного сопротивления, который работает с входным резистором R_1 и интеграционным конденсатором C_1 в обратной связи. Резисторы $R_{1,2,3}$ устанавливают определенные и регулируемые скорости понижения напряжения на интеграторе. Выключатель S служит для установки начального напряжения E_{ad} . Нулевое напряжение на адаптере, а следовательно конец напр. подъема температуры (режим удерживания постоянной температуры) определяет светящаяся диода LED. Z — источник желательных питательных напряжений, U_{ref} — референтное стабилизированное напряжение.

Динамические свойства системы зависят от свойств двухпозиционного регулятора печи и от помещения регуляционного термоэлемента. Если данный термоэлемент помещен ближе отопительной обмотке печи и если температура измеряется сепарированным термоэлементом в пространстве муфля печи, то запись подъема или падения температуры гладка и непрерывна. Линейность программы дана только умеренной нелинейностью функции между температурой и термоэлектрическим напряжением элемента.

Рис. 1. Схема включения адаптера для подъема (понижения) температуры. P — печь, T — цепь тока нагрева, Th — термоэлемент, R — регулятор постоянной температуры, A — адаптер.

Рис. 2. Временный ход напряжения E_{th} и E_{ad} при регулируемом росте температуры (а), понижении температуры (б).

Рис. 3. Схема работы адаптера.

SIMPLE PROGRAM CONTROL OF FURNACES

Josef Dařbujan, Zdeněk Šolc, Miroslav Trojan

Department of Inorganic Technology, Institute of Chemical Technology, 532 10 Pardubice

The regulators of conventional laboratory furnaces operate on the two-position principle, thus allowing only the preset temperature to be maintained. To ensure reproducible firing conditions, such primitive regulation must be supplemented with a reproducible linear heating up and possibly also cooling. The control device described is connected in series with the control thermocouple in the furnace (Fig. 1), generating, at a preset speed, the 'error' voltage E_{ad} which is added to (on heating up) or subtracted (on decreasing the temperature) from the voltage of the thermocouple, E_{th} , so that always $E_{th} \pm E_{ad} = E(t_0)$ (cf. Fig. 2a, b). The sign + holds for heating up, the — for cooling down, $E(t_0)$ is the final temperature (for cooling, $E(t_0) = 0$).

A schematic diagram of the adapter is shown in Fig. 3. It is based on operational amplifier OZ of high input resistance, which works in feedback with input resistor R_1 and the

integrating capacitor C_i . The resistors $R_{1,2,3}$ determine defined and adjustable rates of decreasing the voltage on the integrator. Switch S serves to preset the initial voltage E_{ad} . Zero voltage on the adapter and thus also the end of a temperature rise (constant temperature schedule) is indicated by a LED. Z is the source of the necessary supply voltages and U_{ref} is the reference stabilized voltage.

The dynamic properties of the system depend on the properties of the two-position furnace controller and on the position of the control thermocouple. If this is placed close to the heating coil and if the temperature is measured by a separate thermocouple in the area of the furnace muffle, the record of the temperature rise or fall is perfectly smooth and continuous. The linearity of the program depends only on a slight non-linearity of the dependence of temperature on the thermoelectric voltage of the thermocouple.

Fig. 1. Schematic diagram of the adapter for temperature rise (fall). P — furnace, T — heating circuit, Th — thermocouple, R — constant temperature controller, A — adapter.

Fig. 2. Time course of voltage E_{th} and E_{ad} during controlled heating up (a), cooling down (b).

Fig. 3. Functional schematic diagram of the adapter.