

Regulace teploty v budovách

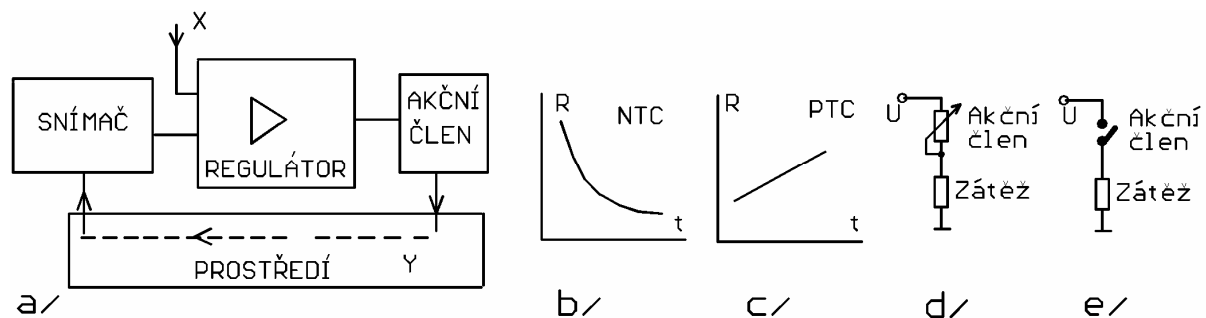
Ing. Vlček

Tento článek se zabývá konkrétní aplikací poznatků z automatizační a regulační techniky. Jeho obsah se z větší části překrývá s texty v publikaci *Moderní elektronika*

K pochopení této problematiky si musíme objasnit základy regulace.

Definujeme **regulovanou soustavu**, ve které se nachází **snímač měřené veličiny**. V našem případě se jedná o termistor (odpor, jehož velikost se mění s teplotou). V jiných aplikacích by jím mohl být fotoodpor, snímač tlaku, snímač vlhkosti, apod. Dále potřebujeme **akční člen**, který zajišťuje úpravu měřené veličiny. V našem případě se jedná o obvod, který spíná elektrické topení (přímotop), plynový kotel, ventily nebo čerpadlo ústředního topení. V jiných aplikacích je akčním členem spínač osvětlení, motor, ventilátor, siréna, apod.

Regulovaná soustava dále obsahuje **řídící obvod** (regulátor), který na základě úrovně měřené veličiny snímané snímačem a na základě požadované hodnoty této veličiny **X** provádí pomocí akčního členu její regulaci (obr. 1a).



Obrázek č. 1

a/ Blokové schéma regulované soustavy

b/ Závislost odporu na teplotě u čidla NTC

c/ Závislost odporu na teplotě u čidla PTC

d/ Princip spojitě regulace

e/ Princip nespojitě regulace

S regulovanými soustavami se setkáváme velmi často. Příkladem hydromechanické soustavy je třeba splachovací zařízení nebo zařízení udržující konstantní tlak vody v potrubí (když voda odtéká, klesne tlak, tlakový spínač sepne čerpadlo, tlak vzroste, expanzní nádoba se naplní vodou, tlakový spínač vypne čerpadlo).

Dá se matematicky odvodit, že **všechny regulované soustavy se řídí stejnými zákonitostmi** a že jejich chování můžeme popsat pomocí stejných matematických rovnic (diferenciální rovnice 2. řádu, řešení pomocí Laplaceovy transformace). Regulovaná soustava se řeší pomocí diferenciálních rovnic. Označíme si jako **řídící veličinu X** například **požadovanou teplotu** v místnosti, kterou nastavujeme (ručně knoflíkem nebo automaticky pomocí programu).

Řízenou veličinou Y bude skutečná teplota v místnosti.

Z odezvy řízené veličiny Y na skokovou změnu řídící veličiny X (např. když ve studené místnosti nastavíme náhle vyšší teplotu) lze zjistit **vlastnosti regulované soustavy**.

Jinak se bude chovat zděný dům s velkou **tepelnou kapacitou**, jinak dům postavený z dřevotřískových desek, který se dá vytopit na požadovanou teplotu podstatně rychleji.

Jinak se bude chovat dům vytápěný elektrickým přímotopem (topný výkon začne okamžitě ohřívat vzduch), jinak dům s ústředním topením (nejprve se ohřívá voda v otopném systému, teprve později se od ní začne ohřívat vzduch). Tak vzniká **dopravní zpoždění**.

Čidlo snímání teploty musí být umístěno v přiměřené vzdálenosti od topení. Pokud by bylo příliš blízko, často by se topení zapínalo a vypínalo, soustava by měla snahu kmitat. Při jejich velké vzájemné vzdálenosti bude mít soustava velkou **hysterezi**. Dlouho potrvá než se teplo dostane od topení k čidlu, mezitím teplota roste nad nastavenou mez a dochází k jejímu překmitu.

Elektrický řídicí obvod (regulátor) se snažíme navrhnout tak, aby svými vlastnostmi kompenzoval dopravní zpoždění a setrvačnost soustavy (viz dále). Cílem je dosažení **co možná nejrychlejšího zaregulování** (aby skutečná teplota odpovídala nastavené teplotě) **s minimalizací překmitů** teploty.

Nyní se budeme zabývat soustavami, které slouží k regulaci neelektrických veličin pomocí elektrických obvodů. Nejznámějším a nejrozšířenějším případem je regulace teploty, ať už v obytném domě, v nádrži s vodou (akvárium) nebo třeba na hrotu pájecího pera. Proto si na jejím příkladu celou problematiku vysvětlíme. Níže uvedené zákonitosti ale mají obecnou platnost bez ohledu na absolutní velikost regulovaného výkonu. Dají se rovněž aplikovat i na regulaci jiných veličin (otáčky motoru, osvětlení, výška vodní hladiny, tlak, vlhkost, apod).

Regulaci většinou provádíme pomocí **zpětnovazební smyčky**. Snímač (termistor) převádí neelektrickou veličinu (teplotu) na elektrické veličiny – odpor, napětí. Ty se v **zesilovači odchytky** porovnávají s referenčními hodnotami, pomocí kterých si nastavíme požadovanou hodnotu regulované veličiny (teploty). Změna regulované veličiny (ochlazení) vyvolá rozdílové napětí, které zesilovač odchytky zesílí. Toto zesílené napětí napájí **akční člen** (topení), který uvede řízenou veličinu zpátky na správnou hodnotu.

K měření teploty můžeme použít buď termistor s negativním teplotním součinitelem odporu (NTC, odpor klesá s teplotou, viz obr. 1b) nebo termistor s pozitivním teplotním součinitelem odporu (PTC, odpor roste s teplotou, viz obr. 1c.)

K měření teploty někdy využíváme i **termočlánek**, který pracuje na principu **termoelektrického jevu** mezi dvěma kovy. Jeho výstupní napětí je řádově několik milivoltů.

V současnosti jsou na trhu i přesná polovodičová čidla pro měření teploty.

Rozlišujeme dva způsoby regulace, **spojitou** a **nespojitou**.

Při **spojité regulaci** je **akční člen** (tranzistor připojený k výstupu OZ) **řízen plynule se měnícím napětím**, řízení probíhá spojitě. Při regulaci teploty to znamená, že při velkém rozdílu požadované a skutečné teploty pracuje topení na plný výkon. S rostoucí teplotou zahřívávaného prostoru tento výkon postupně klesá. Při dosažení požadované (nastavené) teploty se topný výkon sníží na hodnotu, která se rovná úniku tepla z vyhřívávaného prostoru do okolí. Spojitou regulaci si můžeme představit jako proměnný odpor, který plynule reguluje proud tekoucí do zátěže a tím i tepelný výkon zátěže (viz obr. 1.d).

Nevýhodou spojitě regulace jsou velké **výkonové ztráty** (až čtvrtina maximálního dosažitelného výkonu) na akčním členu. Ve většině případů (při regulaci větších výkonů) je tento způsob regulace i přes vysokou přesnost nevýhodný a nepoužitelný. Např. v sérii s elektrickým přímotopem by musel být regulátor, na kterém by se ztrácel výkon až jednotek kilowattů. Při regulaci teploty v budovách se tato regulace může uplatnit pouze při použití trojcestných ventilů, jejichž poloha se plynule nastavuje. Při **nespojité regulaci** (viz zapojení na obr. 1e) se **řídicí napětí mění skokově, řídicí člen pracuje jako spínač**. Nespojitě regulaci dáme přednost tehdy, není-li nutné trvalé působení akčního členu. Např. topení se může střídavě zapínat a vypínat, aniž by to vadilo jeho funkci. Je-li perioda tohoto spínání výrazně kratší než časová konstanta regulace, uživateli to nemůže vadit. Při regulaci jiných veličin (osvětlení) to často možné není.

Při nespojité regulaci se řízená veličina Y (teplota) stále pohybuje okolo nastavené hodnoty podle toho, jak je akční člen (topení) zapínán a vypínán.

Výhodou nespojitě regulace jsou **minimální ztráty** na řídicím členu. Regulační obvod pracuje s vyšší účinností, zmenšují se požadavky na jeho chlazení na minimum. Na ideálním sepnutém spínači nejsou žádné tepelné ztráty, ztráty na polovodičových spínačích (tranzistor, tyristor, triak) tvoří řádově 1 % spínávaného výkonu.

Jako **výstupní spínací obvody** se dříve používaly **relé** a **stykače** (elektrický proud vytváří v cívice magnetické pole, které sepne spínač). Nyní se stále více dává přednost polovodičovým prvkům (vyšší životnost - bezkontaktní spínání, větší rychlost, menší rozměry, nižší cena). Ke galvanickému oddělení řídicích a výkonových obvodů se stále častěji používají **optotriaky** a **polovodičová relé** (SSR). Pomocí malých řídicích napětí a proudů (jednotky voltů, jednotky miliampér) můžeme spínat i velké výkony.

Při dosažení rovnovážného stavu má regulovaná soustava snahu kmitat. Zařízení se vlivem rušivých indukovaných napětí stále zapíná a vypíná ve velmi krátkých časových intervalech. To působí hluk a nadměrné opotřebení spínacích kontaktů.

Z těchto důvodů musíme při nespojité regulaci zavést do řídicího obvodu **hysterezi**. Hystereze řídicího obvodu ale nemá být zbytečně velká, aby zbytečně nezvyšovala celkovou hysterezi soustavy, viz dále. Pokud např. nastavíme požadovanou teplotu v místnosti 20 °C, topení se zapne, pokud teplota poklesne pod 19,5 °C. Vypne se, až teplota vystoupí na 20,5 °C. Hysterezi většiny regulátorů volíme okolo 0,5 až 1 °C.

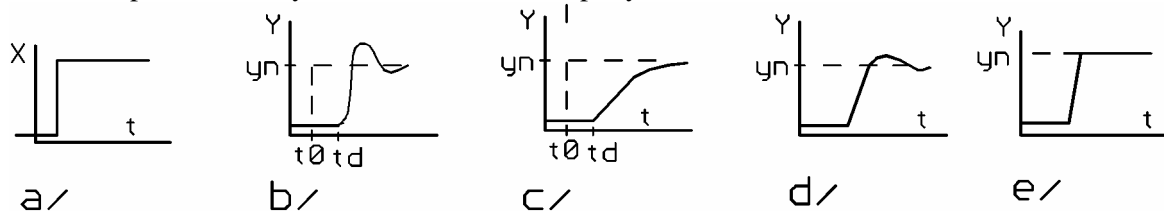
V regulované soustavě (např. dům, jehož ústřední topení řídí termostat) může vznikat poměrně velká **hystereze vlivem dopravního zpoždění** (časové zpoždění způsobené ohřevem vody v ústředním topení a pohybem vody od kotle do radiátorů, vliv velké vzdálenosti mezi snímačem teploty a topením - pohyb teplého vzduchu od radiátoru ke snímači teploty). Regulovaná soustava může mít i velkou **setrvačnost** (např. po vypnutí topení horká voda v radiátorech dále ohřívá vzduch).

Hystereze, dopravní zpoždění a setrvačnost soustavy způsobují oscilace regulované veličiny.

Výše popsaný jednoduchý regulátor (čidlo, zesilovač, spínač) potom přestává vyhovovat. Překmitý snižují komfort regulace teploty. Platí, že **čím vyšší výkon** máme k regulaci k dispozici, **tím rychleji se soustavu podaří zaregulovat** (dosáhnout požadované teploty). Tento výkon má ale svá omezení (maximální možný příkon topení). Je dán výkonem kotle a u elektrických přímotopů použitými jističi. Dobu dopravního zpoždění můžeme měnit pouze velmi málo ($t_d - t_0$). **S rostoucím výkonem vzrůstá náchylnost k oscilacím** (viz obr. 2b).

Při malé rezervě výkonu nám bude dlouho trvat, než dosáhneme zaregulovaného stavu, k překmitům ale nedochází (viz obr.2c).

Pochopitelně se snažíme o maximální rychlost zaregulování s minimalizací překmitů (obr.2d). K tomu můžeme např. využít **dvoustupňový regulátor**. Po zapnutí nastane rychloohřev velkým výkonem. Po dosažení teploty např. o 1 až 2 °C menší než teplota nastavená se zmenší dodávaný výkon, aby nedošlo k překmitu a aby se zmenšilo kolísání teploty.



Obrázek č.2

a/ Skoková změna řídicí veličiny (zapnutí regulačního obvodu)

b/ regulovaná soustava s velkým dopravním zpožděním, velkou rezervou výkonu, která má sklon k překmitům

c/ Průběh regulace při malé rezervě výkonu.

d/ Průběh regulace při optimální rezervě výkonu a vhodném způsobu regulace

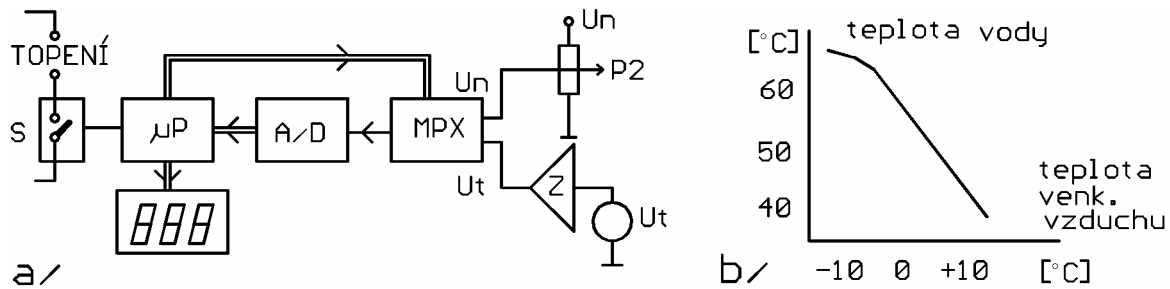
e/ ideální regulace (obvody s mikroprocesorem)

Dvoustupňový regulátor vytvoříme pomocí dvou topných okruhů, které spínáme dvěma spínači.

K dosažení optimálního průběhu regulace můžeme použít i tzn. **pulsní šířkové modulace (PWM)**.

Spínací obvod je periodicky zapínán a vypínán. Perioda je mnohonásobně kratší než doba potřebná k zaregulování obvodu. V závislosti na rozdílu nastavené a skutečné teplotě se mění doba zapnutí a vypnutí spínače (střída řídicího signálu). Pokud tímto způsobem spínáme výkonový elektrický obvod, spínáme jej při průchodu síťového napětí nulou. Předvedeme tak rušivým jevům při spínání.

V současné době se k regulaci teploty nejčastěji používají regulátory řízené **mikroprocesory**.



Obrázek č. 3

a/ Regulator teploty s mikroprocesorem

b/ Ekvitermní regulace- typická závislost teploty vody v ústředním topení na teplotě venkovního vzduchu

Zesílené napětí z termočlánku U_t a napětí odpovídající nastavené hodnotě teploty U_n se přivedou přes multiplexer do A/D převodníku a do mikroprocesoru. (Multiplexer je polovodičový přepínač, který umožňuje k jednomu A/D převodníku zapojit větší počet vstupů). Jedním řídicím obvodem tak můžeme regulovat teplotu ve více místnostech. Podle programu se spíná řídicí prvek tak, aby byl vykompenzován vliv zpoždění a setrvačnosti. S dobrým programem lze dosáhnout ideálního průběhu regulace (viz obr.2e). Nastavenou a skutečnou teplotu zobrazujeme na displeji. Jedná se o nejdokonalejší typ zapojení. Vývoj programu není snadný.

Kvalitní programy jsou schopné se „učit“, tzn. zjistit vlastnosti prostředí a přizpůsobit mu průběh regulace. Vznikají tak **adaptabilní regulátory**, které si po prvním zapojení změří vlastnost soustavy, kterou regulují. Vypočítají dopravní zpoždění, hysterezi a tepelnou kapacitu. Tyto hodnoty si pak uloží do paměti EEPROM nezávisle na napájecím napětí. Provádějí potom regulaci optimálním způsobem.

Zatím jsme se zabývali soustavou, kde teplota vody v ÚT je řízena pouze podle požadované a skutečné teploty v obytných místnostech. Ve větších budovách nemusí být tento způsob vždy výhodný. Pokud je teplota v místnostech např. řízena pomocí ventilů v ÚT, dojde při náhlém zvýšení venkovní teploty k uzavření většiny ventilů. To naruší činnost celého otopného systému.

Omezení topného výkonu při náhlém zvýšení venkovní teploty nebo naopak jeho zvýšení při náhlém ochlazení lze předvídat. Není třeba čekat, až se začne měnit teplota v místnostech.

Proto se při regulaci teploty v obytných domech za účelem odstranění oscilací používá často princip **ekvitermní regulace**. Vycházíme z předpokladu, že **dané venkovní teplotě odpovídá určitá teplota vody v ústředním topení**. Např. venkovní teplotě $+10^{\circ}C$ odpovídá teplota vody v ÚT $40^{\circ}C$, venkovní teplotě $0^{\circ}C$ teplota vody v ÚT $60^{\circ}C$. Topný výkon je řízen tak, aby tato teplota byla při neměnění se venkovní teplotě přibližně konstantní.

Měří se proto venkovní teplota, teplota vody na výstupu z kotle a teplota v obytných místnostech, na základě těchto měření se řídí výkon kotle.

K dosažení **úspor energie** při zachování teplotní pohody se používají stále dokonalejší řídicí obvody. Spojíme-li např. regulační obvod s digitálními hodinami obsahujícími spínač, získáme termostat, u kterého můžeme nastavit automatické snížení nastavené teploty v nočních hodinách a v době, kdy nebýváme doma. Týdenní hodiny zajistí jiný topný režim v pracovních dnech a o víkendu, roční hodiny mají v paměti i svátky. Topení je možné i zapnout dálkově, např. z mobilního telefonu, pokud se např. vracíme domů neplánovaně dřív. Ve velkých budovách bývá teplota řízena pomocí PC.