

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



ZÁKLADY AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ V TEORII

Regulátory

Ing. Romana Garzinová, Ph.D.
prof. Ing. Zora Jančíková, CSc.
Ing. Ondřej Zimný, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana Garzinová, Ph.D., prof. Ing. Zora Jančíková, CSc., Ing. Ondřej Zimný, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3044-5



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	REGULÁTORY	3
1.1	Regulátory	4
1.2	Vnitřní struktura regulátoru	5
1.3	Spojité regulátory.....	5
1.3.1	Proporcionální regulátor P	6
1.3.2	Integrační regulátor I.....	7
1.3.3	Derivační regulátor D.....	7
1.3.4	Složené regulátory	9
1.4	Nespojité regulátory.....	10
1.4.1	Dvoupolohový (vícepolohový) regulátor.....	10
1.4.2	Impulsní regulátor.....	12
2	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	13
3	POUŽITÁ LITERATURA	14



1 REGULÁTORY



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Regulátory.

Vnitřní struktura regulátoru.

Spojité regulátory.

Nespojité regulátory.



MOTIVACE:

Základním prvkem regulace je regulátor. Regulátory se podle své funkce a dynamických vlastností dají rozdělit na proporcionální, integrační a derivační regulátory. Jejich specifika popisujeme diferenciálními rovnicemi, obrazovými přenosy či přechodovými charakteristikami. V praxi se můžeme setkat se spojitými či nespojitými regulátory.



CÍL:

Cílem kapitoly je rozdělení, charakteristiky a možnosti použití různých typů regulátorů.

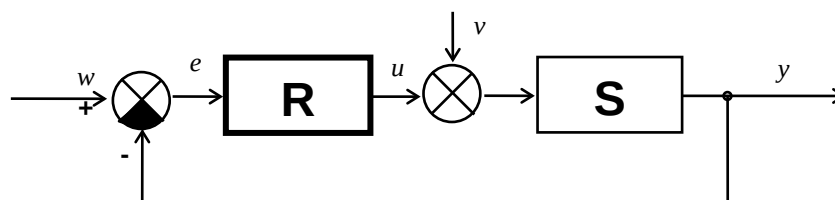
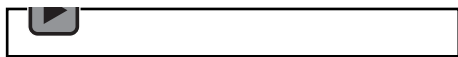


1.1 REGULÁTORY

Regulátor je zařízení, které uskutečňuje automatickou regulaci, kdy prostřednictvím akční veličiny působí na regulovanou soustavu, tak aby se regulovaná hodnota udržovala na předepsané hodnotě a regulační odchylka byla nulová (nebo minimální). Regulátor tedy porovnává regulovanou veličinu s její žádanou hodnotu, určuje časový průběh regulační odchylky a vytváří matematickými funkcemi časový průběh akční veličiny.



Audio 1.1



Obr. 1. Základní zapojení regulátoru do regulačního obvodu

Regulátory lze rozdělit podle různých hledisek.

Podle nutnosti pomocné energie:

- **přímý regulátor** (někdy hovorově označován jako přímočinný) pro svou funkci nepotřebuje vnější přívod energie. Potřebnou energii dodává přímo snímač, který ji odebírá zpravidla regulované veličině. Např. Wattův odstředivý regulátor u parních strojů, redukční ventily pro redukci tlaku plynů, regulace hladiny v nádrže splachovače, termostat v žehličce apod.
- **nepřímý regulátor** pro svou funkci potřebuje přívod vnější energie. Příkladem jsou regulátory elektrické, pneumatické, hydraulické.

Podle charakteru výstupního signálu:

- **spojité** - jejich výstupní veličiny jsou spojitou funkcí vstupních veličin.
- **nespojité** - jejich výstupní veličiny nezávisí spojitě na vstupních veličinách.
- **regulátor polohový** - jeho výstupní veličina nabývá dvou nebo více definovaných hodnot (např. dvojpohový, třípohový regulátor atd.)
- **regulátor impulsní** – je dalším typem nespojitého regulátoru a jehož výstupním signálem je řada impulsů s různým typem modulace.

Podle charakteru statické charakteristiky:

- **lineární** - regulátory realizující lineární přenosové funkce.
- **nelineární** - regulátory realizující nelineární přenosové funkce.

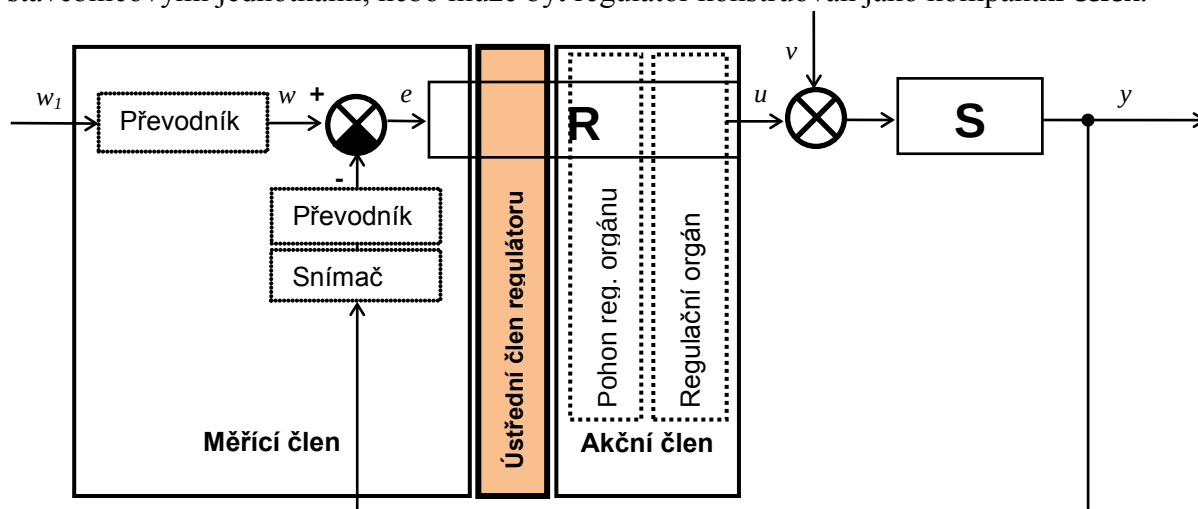


1.2 VNITŘNÍ STRUKTURA REGULÁTORU

Část regulačního obvodu v teorii regulace označovaná jako regulátor (obr. 1.) musí plnit tři základní úkoly:

1. Měřit regulovanou veličinu y - proto musí obsahovat měřicí člen.
2. Porovnávat tuto naměřenou hodnotu y se žádanou hodnotou w a vytvářet tak regulační odchylku $e = w - y$. Tuto odchylku musí pak přeměnit vhodnými časovými funkcemi tak, aby se vytvořila požadovaná regulační závislost. Tuto funkci provádí tzv. ústřední člen regulátoru.
3. Realizovat změnu akční veličiny u , proto musí obsahovat akční člen, tj. pohon regulačního orgánu a vlastní regulační orgán.

Jednotlivé funkce mohou být realizovány samostatnými částmi (obr. 2), přístroji, stavebnicovými jednotkami, nebo může být regulátor konstruován jako kompaktní celek.



Obr. 2. Členění regulátoru

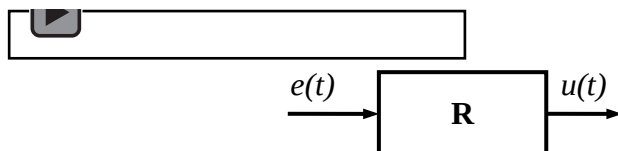
V této kapitole se zaměříme na ústřední člen regulátoru, tj. realizaci výpočetních funkcí regulátoru. Vzhledem k tomu, že ústřední člen bývá často konstruován jako samostatný konstrukční prvek, jehož výstupní signál je dále nejvýše lineárně zesilován, tedy již nejsou generovány další časové funkce, přenáší se často název "regulátor" pouze na tento ústřední člen, jako regulátor v užším smyslu. Ostatní části regulátoru popíšeme v následných kapitolách o technických prostředcích regulace.

1.3 SPOJITÉ REGULÁTORY

Základní dynamické vlastnosti regulátoru popíšeme na příkladu lineárního spojitého regulátoru, ze kterého lze odvodit i další typy regulátorů. Lineární regulátor vytváří časové funkce regulační odchylky. Základní typy regulátorů tedy jsou:

- **P** - regulátor realizuje zesílení regulační odchylky,
- **I** – regulátor realizuje časový integrál regulační odchylky,
- **D** - regulátor realizuje derivaci regulační odchylky podle času.





Obr. 3. Blokové schéma regulátoru

Spojité regulátory pracují se spojitými signály a jejich hlavními stavebními prvky jsou operační zesilovače. Kvalita regulace je velmi dobrá a návrh regulace poměrně snadný. Spojité regulátory tvoří základ regulační techniky.

1.3.1 Proporcionální regulátor P

Vstupem tohoto přenosového členu je regulační odchylka, výstupem akční veličina. Akční veličina u je přímo úměrná regulační odchylce e .

Rovnice:

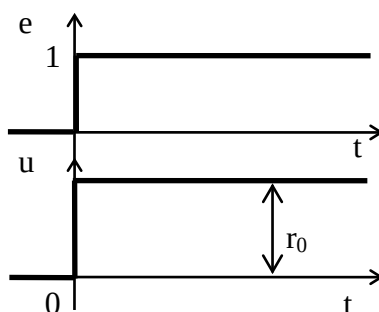
$$u(t) = r_0 \cdot e(t) \quad (1)$$

Operátorový přenos:

$$G(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = r_0 \quad (2)$$

r_0 – je proporcionální konstanta regulátoru

Přechodová charakteristika:



Obr. 4. Přechodová charakteristika P regulátoru

Z uvedeného plyne, že proporcionální regulátor je prostý zesilovač regulační odchylky a chováním odpovídá vlastnostem přenosového členu 0. řádu statického.

V regulačním obvodu teploty v peci podle (kap. 5 obr. 16.) použijme proporcionální regulátor. Jestliže je žádaná hodnota teploty w nenulová, musí být rovněž nenulová akční veličina u , tedy příkon plynu do pece, který musí v ustáleném stavu krýt ztráty tepla z pece do okolí. To je ale možné pouze tehdy, jestliže v rovnici (1) je nenulová regulační odchylka e . Čím větší bude žádaná hodnota teploty, musí být pro její udržení i větší akční veličina, tedy v ustáleném stavu i větší regulační odchylka.

Závěr: V regulačním obvodu s P regulátorem je v ustáleném stavu nenulová regulační odchylka.



1.3.2 Integrační regulátor I

Přenos tohoto regulátoru je integrační, tedy akční veličina je časovým integrálem regulační odchylky.

Rovnice:

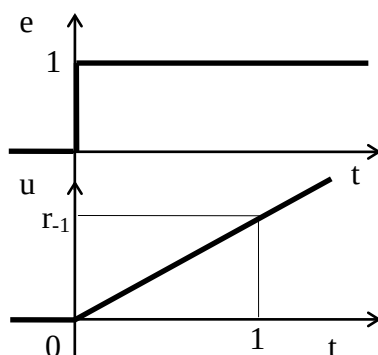
$$u(t) = r_{-1} \cdot \int e(t) dt \quad (3)$$

Operátorový přenos:

$$G(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = \frac{r_{-1}}{p} \quad (4)$$

r_{-1} – je integrační konstanta regulátoru

Přechodová charakteristika:



Obr. 5. Přechodová charakteristika I regulátoru

Při konstantní regulační odchylce na vstupu regulátoru narůstá akční veličina lineárně s časem. Rychlost nárůstu je přímo úměrná konstantě r_{-1} a dále velikosti vstupní veličiny tj. regulační odchylky.

U integračního regulátoru je akční veličina časovým integrálem regulační odchylky. Jestliže v regulačním obvodu bude jako regulátor R použito integračního regulátoru I, bude při skoku žádané hodnoty narůstat akční veličina tak dlouho, dokud nebude dosaženo nulové regulační odchylky, přitom akční veličina může být nenulová. Tedy na příkladu plynem vytápěné pece to znamená, že i při nulové regulační odchylce může být nenulová akční veličina, tedy příkon do pece kryjící v ustáleném stavu ztráty pece do okolí.

Závěr: V regulačním obvodu s regulátorem I je v ustáleném stavu dosaženo nulové regulační odchylky, tedy regulovaná veličina y je rovna žádané hodnotě w .

Proti obvodu s regulátorem P je doba regulačního děje delší (při skokové změně vstupu dojde k pomalému postupnému nárůstu výstupu). Dále má regulační obvod s regulátorem I sklon k nestabilitě, tj. ke kmitání.

1.3.3 Derivační regulátor D

Přenos D regulátoru má derivační charakter. Akční veličina je úměrná derivaci regulační odchylky podle času.



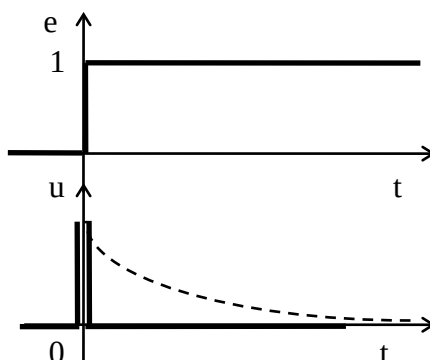
Rovnice:

$$u(t) = r_1 \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (5)$$

Operátorový přenos:

$$G(p) = \frac{U(p)}{E(p)} = r_1 p \quad (6)$$

r_1 – je derivační konstanta regulátoru



Přechodová charakteristika:

Obr. 6. Přechodová charakteristika D regulátoru

Ve skutečném ústředním členu se nepoužívá ideální derivace, ale reálný derivační člen (čárkovaná křivka). Výstupní veličina derivačního regulátoru u (akční veličina) je časovou derivací regulační odchylky, tj. výstupní signál je úměrný změnám regulační odchylky. Čím je změna větší a čím je větší konstanta r_1 regulátoru, tím je větší i výstupní signál regulátoru.

Výhodnou vlastností tohoto regulátoru je, že velikost výstupního signálu je úměrná velikosti změny regulační odchylky v čase. Tím výstupní regulovaná veličina dospěje k ustálenému stavu podstatně rychleji než při použití jiných typů regulátorů. Derivační regulátor rovněž příznivě působí na stabilitu regulačního obvodu.

Nevýhodou ovšem je, že jestliže je na vstup přiveden poruchový signál třeba malé amplitudy, ale rychle se měnící, může způsobit chybný poruchový signál v akční veličině značné amplitudy, což může závažně ohrozit kvalitu regulace.

Protože D regulátor reaguje pouze na změnu regulační odchylky, nikoli na regulační odchylku jako takovou, nezpracovává informaci o její skutečné velikosti, nelze použít D regulátoru pro odstranění regulační odchylky. Tedy v běžných aplikacích se D regulátoru nepoužívá samostatně, ale jedině v kombinaci s ostatními typy regulátorů. Samostatně se regulátor D použije např. jen při regulaci rychlosti při použití měřicího členu polohy, kde regulátor typu D slouží k získání informace o rychlosti ze signálu polohy.

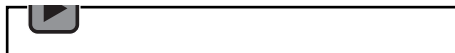


1.3.4 Složené regulátory

Pro dosažení požadované kvality regulačního děje obvykle nevystačíme s užitím jediného z uvedených typů regulátorů, nýbrž používáme jejich kombinaci, kde se uplatní současně výhodné vlastnosti jednotlivých druhů základních regulátorů. Například přenos PID regulátoru je:

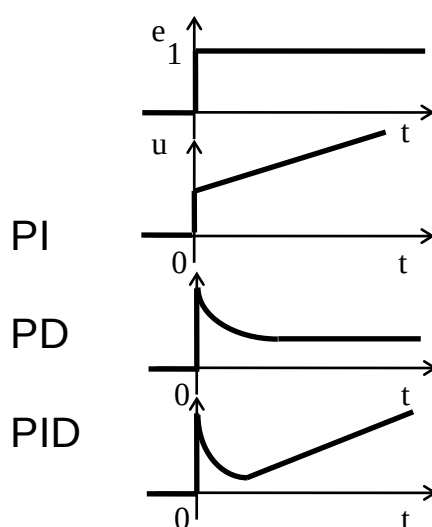


Audio 1.3



$$G(p) = r_0 + \frac{r_{-1}}{p} + r_1 p \quad (7)$$

Přechodové charakteristiky jednotlivých typů složených regulátorů jsou uvedeny na obr. 7.



Obr. 7. Přechodové charakteristiky složených regulátorů

Vlastnosti složených regulátorů:

PI - nejčastěji používaná kombinace zvláště pro pomaleji probíhající regulační pochody. Zajišťuje dobrou odezvu na změnu žádané hodnoty a nulovou regulační odchylku v ustáleném stavu, tedy vysokou přesnost řízení v ustáleném stavu.

PD - používá se v případech, kdy je třeba zajistit dobré dynamické vlastnosti regulačního obvodu bez velkých nároků na přesnost řízení. V ustáleném stavu dochází k nenulové regulační odchylce, ale při změně žádané hodnoty dojde k rychlému ukončení regulačního děje. Používá se méně často.

PID - umožňuje dosažení kvalitního regulačního děje jak po stránce dynamické, velké hodnoty akční veličiny při změně žádané hodnoty nebo vzniku poruchy, tak i v ustáleném stavu, kdy lze prostřednictvím integrační složky dosáhnout nulové regulační odchylky. Je tedy dosažitelná vysoká přesnost řízení.

Z jednoduchých regulátorů se samostatně používá nejčastěji regulátor P (většina tzv. přímých regulátorů), někdy i regulátor I pro některé speciální případy regulace.

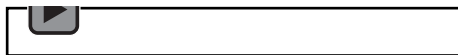


1.4 NESPOJITÉ REGULÁTORY

Nespojité regulátory jsou takové, jejichž některý člen má nespojitou, obvykle reléovou charakteristiku. Vstupní veličina těchto regulátorů tedy dosahuje v závislosti na velikosti regulační odchylky několika pevných výstupních hodnot (dvupolohové a vícepolohové regulátory), nebo je výstupní veličina impulsního charakteru (impulsní regulátory).



Audio 1.4



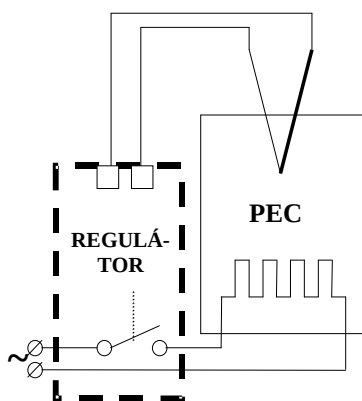
Základním kvalitativním rozdílem proti spojitým regulátorům je skutečnost, že při užití nespojitých regulátorů nedojde prakticky nikdy k ustálení regulované veličiny, ale za ustálený stav se považuje kmitání regulované veličiny kolem její žádané hodnoty označované v teorii nelineární regulace jako tzv. mezní cyklus. Velikost rozkmitu regulované veličiny je výsledkem mnoha vlivů. Nicméně základním problémem zůstává skutečnost, že při zmenšení amplitudy rozkmitu roste četnost spínání akční veličiny, takže je nutno hledat kompromis mezi přesností regulace a např. životností spínacího členu, který má obvykle garantovaný v době své životnosti omezený počet sepnutí.

Běžné druhy nespojitých regulátorů tedy běžně dělíme do dvou kategorií:

- regulátory **polohové**, jejichž výstupní veličina – akční veličina v regulačním obvodu dosahuje přesně definovaných hodnot. Např. u dvupolohového regulátoru akční veličina obvykle může dosahovat hodnot „zapnuto“ a „vypnuto“, u třípolohového pak hodnot „zapnuto na maximální výkon“, „zapnuto na omezený výkon“, „vypnuto“.
- regulátory **impulsní**, u kterých je akční veličina ve formě sledu impulsů, nejčastěji konstantní amplitudy a proměnné šířky a četnosti.

1.4.1 Dvupolohový (vícepolohový) regulátor

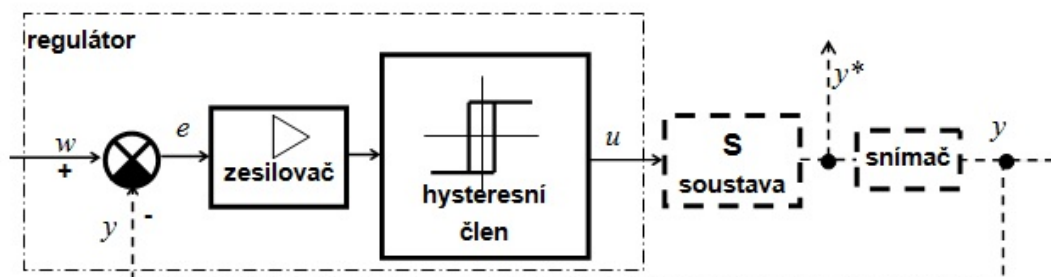
Příkladem užití takového regulátoru může být regulace teploty v elektricky odporově vytápěné peci uvedená na obr. 8.



Obr. 8. Dvupolohová regulace teploty v peci

Teplota v peci se měří termočlánekem, výstup termočládku zpracovává regulátor na akční veličinu reprezentovanou sepnutím příkonu do topného vinutí pece kontaktem regulátoru. Blokové schéma dvupolohového regulátoru je na obr. 9.

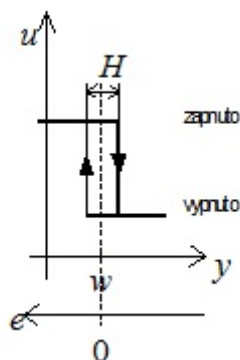




w	žádaná hodnota	u	akční veličina
y	regulovaná veličina (vstup regulátoru)	$e = w - y$	regulační odchylka
y^*	skutečný průběh regulované veličiny		

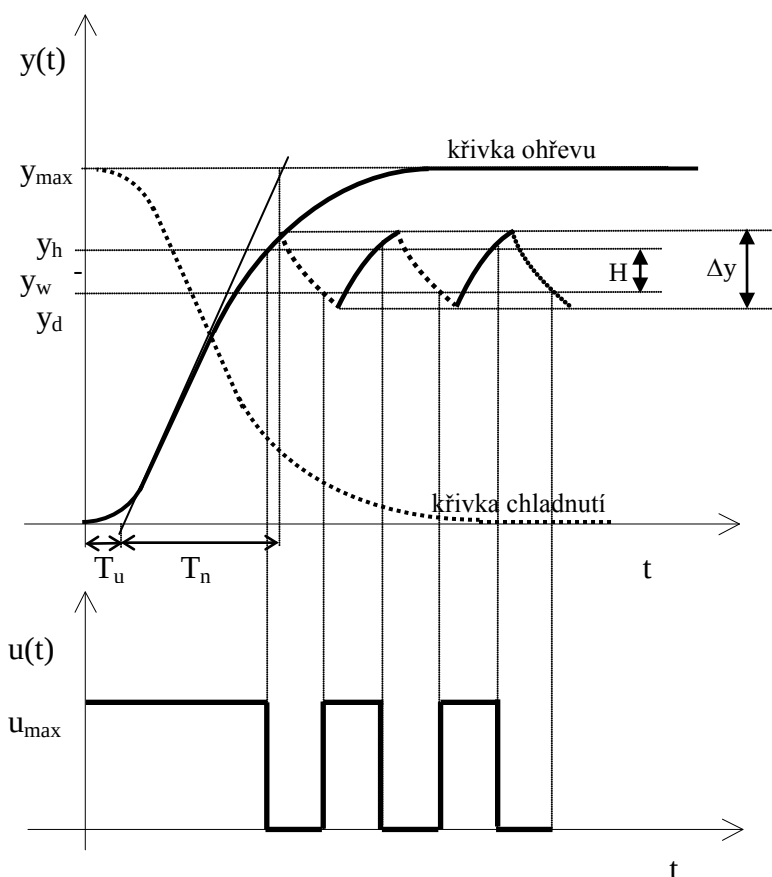
Obr. 9. Blokové schéma dvoupolohového regulátoru bez zpětné vazby

Regulační odchylka e vypočtená porovnávacím členem se zesiluje zesilovačem a navazující hysteresní člen tvaruje tento signál na dvouhodnotový signál akční veličiny u , který vstupuje do regulované soustavy S . Statická charakteristika tohoto regulátoru je na obr. 10.



Obr. 10. Statická charakteristika dvoupolohového regulátoru

Výstupní signál dvoupolohového regulátoru v závislosti na velikosti regulační odchylky je na obr. 11. Z charakteristiky je vidět, že po překročení hodnoty horní meze regulované veličiny dojde k vypnutí akční veličiny a ke zpětnému přepnutí dojde zase až po dosažení dolní meze regulované veličiny. Tedy klesne-li skutečná teplota pod teplotou žádanou, tj. regulační odchylka se stává kladnou, zapíná se topení. Při překročení teploty se s jistou hysterezí topení vypíná.



Obr. 11. Časový průběh regulačního pochodu dvoupolohového regulátoru

Další použití dvoupolohové regulace: regulace hladiny v nádržích, kdy se zapíná čerpadlo, tlaku v tlakových nádobách v kompresoru, teploty v chladničkách apod.

1.4.2 Impulsní regulátor

Do této kategorie je řazena řada typů regulátorů různých vlastností. Jedním z typů je např. regulátor, který podle polarity a velikosti regulační odchylky vysílá impulsy, jejichž šířka (doba trvání) je úměrná velikosti regulační odchylky, přičemž opakovací frekvence těchto impulsů je konstantní.

Tohoto regulátoru se používá např. pro regulaci polohy nebo jako koncového výkonového členu pro ovládání servopohonů s elektrickými motory, regulátory napětí alternátorů a dynam vozidel apod.



2 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Rozdělení regulátorů podle různých hledisek.
- Vnitřní struktura regulátoru a hlavní funkce regulátoru.
- Spojité regulátory – proporcionální, integrační, derivační.
- Nespojité regulátory – polohové, impulsní.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BALÁTĚ Jaroslav *Technické prostředky automatického řízení*/ 1. vyd., 488 stran, Praha: SNTL, 1986.
- [2] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. 2. přeprac. vyd., Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-148-9.
- [3] FRANKLIN, Gene F., POWELL, J. David aj. *Feedback control of dynamic systems*. Prentice Hall, PEARSON. 2009, ISBN-13: 978-0-13-601969-5, ISBN-10:0-13-601969-2.
- [4] OPLATEK, F. *Automatizace a automatizační technika*. 4, Automatické systémy. 1. vyd., Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-7226-249-1.
- [5] ŠVARC, I. *Automatizace: automatické řízení*. 2. dopl.vyd., Brno: CERM, 2005. ISBN 80-214-2943-7.
- [6] TOMIS, L. a kol.: *Automatizované systémy řízení technologických procesů v hutnictví*. 2. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská, 1984.
- [7] VÍTEČKOVÁ, M., VÍTEČEK, A. *Základy automatické regulace*. 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1068-9.
- [8] VORÁČEK, R. *Automatizace a automatizační technika*. 2, Automatické řízení. 1. vyd., Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0796-5.

