

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

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



ZÁKLADY AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ V TEORII

Základní pojmy z teorie regulace

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	ZÁKLADNÍ POJMY Z TEORIE REGULACE	3
1.1	Bloková algebra.....	4
1.2	Nelineární členy.....	6
1.3	Základní pojmy z teorie regulace	8
1.4	Řízení systémů	9
1.4.1	Ovládání	10
1.4.2	Regulace	11
1.4.3	Stupně automatického řízení.....	13
2	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	15
3	POUŽITÁ LITERATURA.....	16



1 ZÁKLADNÍ POJMY Z TEORIE REGULACE



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Bloková algebra.

Nelineární členy.

Řízení systémů.

Stupně automatického řízení.



MOTIVACE:

V této kapitole je potřeba doplnit některé pojmy z teorie regulace a navázat na úvodní kapitolu o automatizaci. Hlavní cíl automatizace je možno chápat jako uskutečnění principu řízení s využitím vhodných technických prostředků řízení a počítačové techniky. V návaznosti na předchozí kapitoly, kdy už známe vlastnosti soustavy, vysvětlili jsme metody identifikace, určili matematické modely soustav, je potřeba zvolit vhodnou metodu řízení.



CÍL:

Cílem je vysvětlit pojem řízení a uvést základní charakteristiky metod řízení bez a se zpětnou vazbou.



1.1 BLOKOVÁ ALGEBRA

V praxi existuje řada dalších druhů členů s různým stupněm diferenciální rovnice, jednotlivé typy se mohou kombinovat. Pokud je přenos systému složitý, rozložíme ho na jednodušší členy - bloky s jednoduššími přenosy, které jsme schopni popsat.

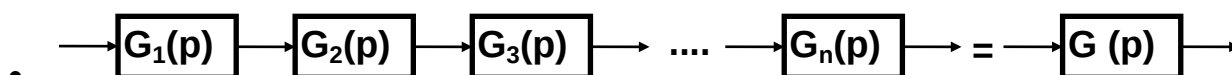
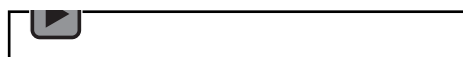
Výsledným přenosem spojení několika jednodušších členů se zabývá tzv. bloková algebra. Je to souhrn pravidel, pomocí níž lze určit výsledný přenos libovolné kombinace přenosových členů o dílčích přenosech $G_1(p)$, $G_2(p)$, $G_3(p)$, ... $G_n(p)$.

Základní typy zapojení:

- **sériové zapojení prvků** – je takové zapojení, při kterém výstupní veličina předcházejícího členu je vstupní veličinou následujícího (obr. 1.) Výsledný přenos je dán součinem dílčích přenosů (1).



Audio 1.1



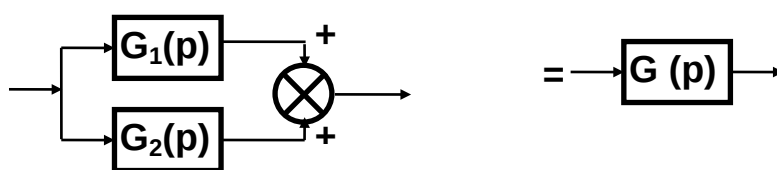
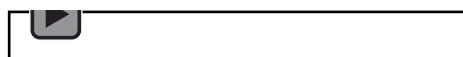
Obr.1. Sériové zapojení přenosových členů

$$G(p) = G_1(p) \cdot G_2(p) \cdot \dots \cdot G_n(p) \quad (1)$$

- **paralelní zapojení prvků** – je takové zapojení, při kterém máme jednu vstupní veličinu pro všechny členy a výstupní veličiny jednotlivých bloků se sčítají (obr. 2.). Výsledný přenos je dán součtem dílčích přenosů (2).



Audio 1.2



Obr. 2. Paralelní zapojení přenosových členů

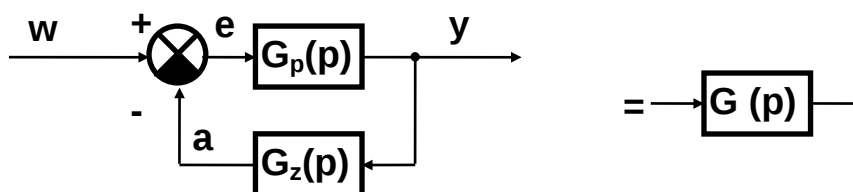
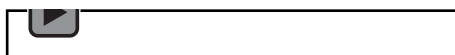
$$G(p) = G_1(p) + G_2(p) + \dots + G_n(p) \quad (2)$$

- **antiparalelní zapojení prvků (zpětná vazba)** – je to takové zapojení dvou členů, kdy se výstupní veličina zapojení vede zpět na vstup, kde se odečítá nebo přičítá od vstupního signálu (obr.3). Výsledný přenos je dán zlomkem, kde v čitateli je přenos přímé větve a ve jmenovateli jedna plus součin přenosu přímé větve a přenosu zpětné vazby (3).





Audio 1.3



Obr. 3. Antiparalelní zapojení přenosových členů (zpětná vazba)

Protože v praxi má zpětnovazební zapojení velmi významnou roli, jeho odvození je vhodné vysvětlit a následné závěry uvést.

V tomto zapojení platí několik rovnic a jejich úpravami dostaneme výsledný tvar přenosu antiparalelního (zpětnovazebního) obvodu.

$$e = w - a$$

$$a = G_z \cdot y$$

$$y = G_p \cdot e \Rightarrow e = \frac{y}{G_p}$$

$$\frac{y}{G_p} = w - G_z \cdot y$$

$$y = w \cdot G_p - G_p \cdot G_z \cdot y \quad (3)$$

$$y(1 + G_p G_z) = w \cdot G_p$$

$$G(p) = \frac{Y(p)}{W(p)} = \frac{G_p}{1 + G_p G_z}$$

Jestliže je přenos v přímé větvi G_p značně velký, např. zesilovač s velkým zesílením, tedy $G_p \gg 1$, pak z upraveného vztahu (3) plyne:

$$G(p) = \frac{1}{\frac{1}{G_p} + G_z} \approx \frac{1}{G_z} \quad (4)$$

Výsledný přenos takového obvodu je dán převrácenou hodnotou zpětnovazebního přenosu. Této skutečnosti se značně využívá např. při konstrukci snímačů, konstrukci regulátorů apod. Jejich základním prvkem je zesilovač s velmi velkým zesílením, tzv. operační zesilovač, v jehož zpětné vazbě jsou zapojeny prvky určující výsledný přenos zapojení.



1.2 NELINEÁRNÍ ČLENY

Abychom doplnili některé souvislosti v oblasti řízení, je třeba se zmínit nejen o systémech lineárních (které jsme doteď uvažovali), ale i systémech nelineárních.

Jak bylo uvedeno, nelineární členy se od lineárních významně liší. Jejich charakteristické vlastnosti jsou tyto:

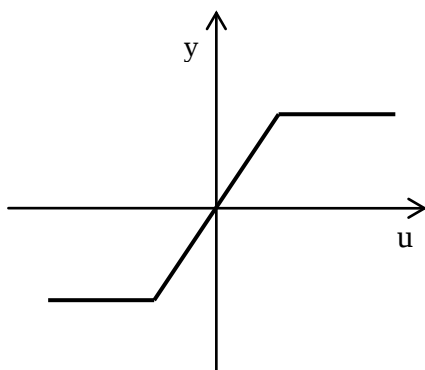
- nelze je popsat lineárními diferenciálními rovnicemi,
- statická charakteristika (závislost výstupu na vstupu) není přímka,
- neplatí u nich princip superpozice,
- výstupní signál tudíž závisí nejen na dynamických vlastnostech přenosového členu, ale současně i na amplitudě vstupního signálu.

Nelinearity mohou být buď přímo vlastností reálného objektu, nebo mohou být uměle zavedené. Uměle zavedené jsou např. nelinearity reléového typu používané v regulátorech - viz kapitola o nespojitých regulátorech. V případě, že jediný prvek celého systému má nelineární vlastnosti, je systém nelineární.

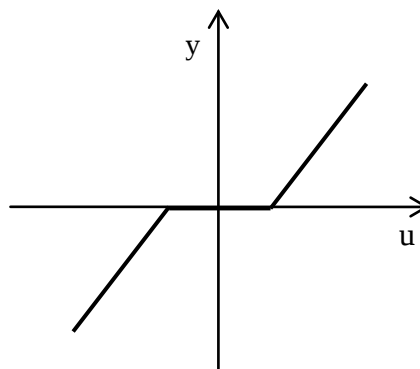
Základní typy nelinearit jsou:

- Nasycení – nelinearita má oblast, kde se při změně vstupního signálu, výstupní signál téměř nemění (obr. 4). Příkladem jsou zesilovače, servomotory, členy s mechanickým dorazem.
- Pásmo necitlivosti – nelinearita má oblast, kde není citlivá na změny vstupního signálu (obr.5). Příkladem je vůle v mechanických členech, tření u servomotorů.
- Vůle v převodech – má charakter hystereze a šikmé větve odpovídají přímému záběru, vodorovné úseky znázorňují přechod vůlí (obr. 6). Příkladem jsou převody ozubených kol, pákové převody.
- Relé – nelinearita, kde výstupní veličina se mění nespojitě – skokem, při spojitě změně vstupní veličiny (obr. 7).
- Hystereze – nelinearita je dána dvojznačně. Výstup je dán velikostí vstupní veličiny a smyslem její změny (obr. 8). Příkladem je přitah a odpad kotvy relé.
- Ostatní typy jsou dány kombinací jednotlivých základních typů – např. relé s hysterezí a s pásmem necitlivosti (obr. 9), relé s pásmem necitlivosti (obr. 10), nasycení a pásmem necitlivosti (obr. 11).

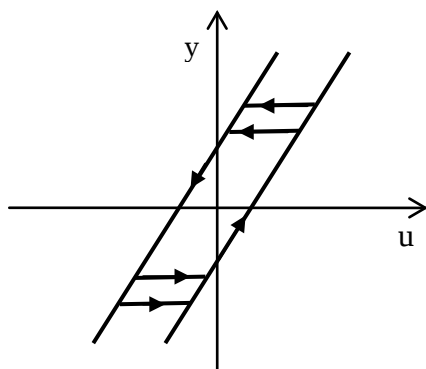




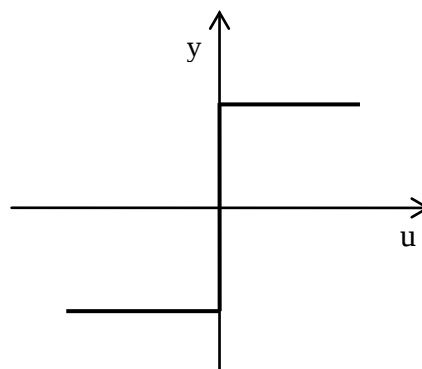
Obr. 4 Charakteristika nasycení (idealizovaná)



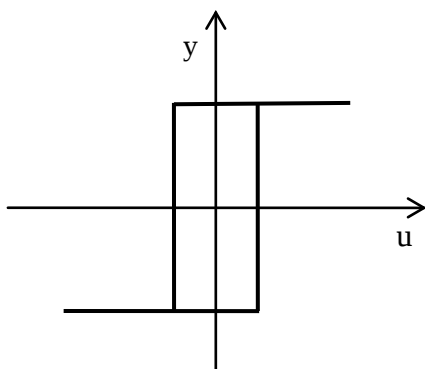
Obr. 5 Charakteristika pásma necitlivosti



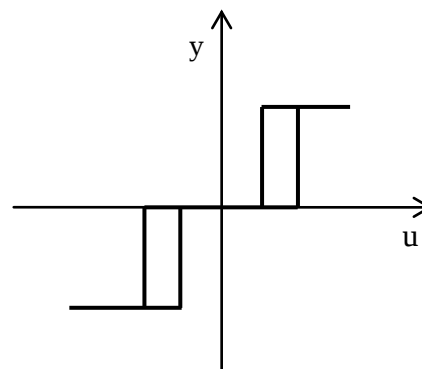
Obr. 6 Charakteristika vůle v převodech



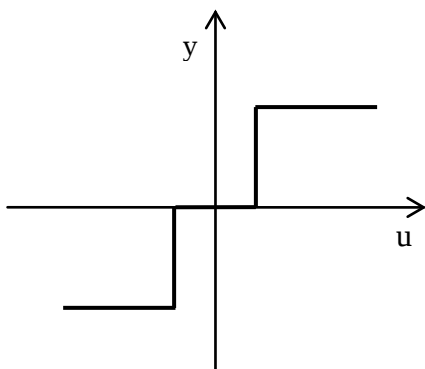
Obr. 7 Charakteristika relé



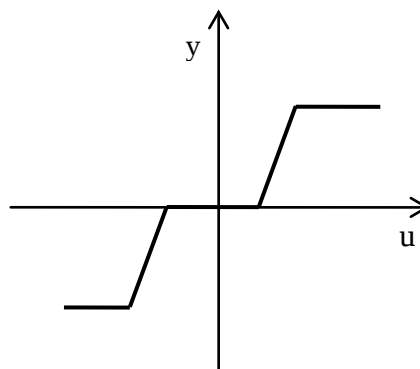
Obr. 8 Charakteristika relé s hystezí



Obr. 9 Charakteristika relé s hystezí a pásmem necitlivosti



Obr. 10 Charakteristika relé s pásmem necitlivosti



Obr. 11 Charakteristika nasycení s pásmem necitlivosti



1.3 ZÁKLADNÍ POJMY Z TEORIE REGULACE

Mechanizace - odstraňuje namáhavou fyzickou práci zavedením stroje, k jehož chodu je potřeba pomocné energie.

Podle normy ČSN 01 0170 - Názvosloví z oboru automatizace a regulační techniky je:

Automatizace - proces vývoje techniky, kde se využívá zařízení k osvobození člověka nejen od fyzické, ale zejména od duševní řídicí práce.



Audio 1.4

Řízení - působení řídicího členu na člen řízený.

Regulační obvod - obvod, ve kterém probíhá samočinná regulace.

Regulovaná soustava - zařízení (nebo jeho část) na kterém se provádí regulace.



Audio 1.5

Regulátor - zařízení, které uskutečňuje automatickou regulaci.



Audio 1.6

Regulovaná veličina - veličina, jejíž hodnota je regulací upravována podle stanovených podmínek.



Audio 1.7

Akční veličina - výstupní veličina regulátoru a současně vstupní veličina regulované soustavy. Působením akční veličiny na regulovanou soustavu se uskutečňuje regulace.



Audio 1.8

Poruchová veličina - veličina způsobující poruchu.



Audio 1.9

Porucha - každá změna, která by sama o sobě způsobila odchylku regulované veličiny od nastavené hodnoty.

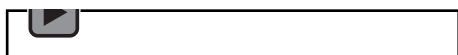
Řídicí veličina - veličina, která nastavuje žádanou hodnotu regulované veličiny.

Žádaná hodnota regulované veličiny - hodnota regulované veličiny daná regulačním úkolem.





Audio 1.10

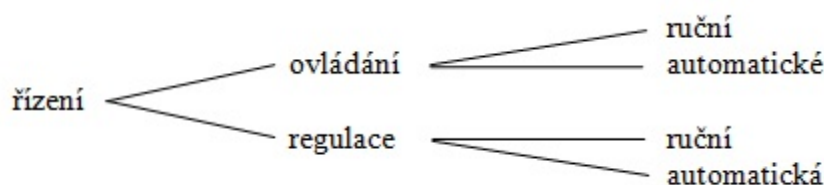


Nastavená hodnota regulované veličiny - žádaná hodnota regulované veličiny nastavená na řídicím členu regulátoru.

Řízení můžeme dělit z mnoha hledisek:

- ruční, automatizované, automatické,
- přímé, nepřímé,
- místní, dálkové (telemechanika).

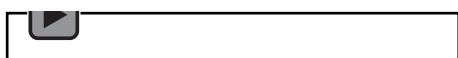
Z hlediska funkčního propojení je podstatné dělení řízení na ovládání a regulaci dle schématu a tím se i nadále budeme zabývat.



Ovládání - řízení bez zpětné kontroly (měřením).



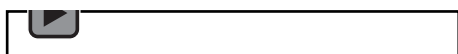
Audio 1.11



Regulace - řízení se zpětnou kontrolou měřením (řízení při němž se udržuje hodnota veličiny podle stanovených podmínek zjištěných měřením).



Audio 1.12



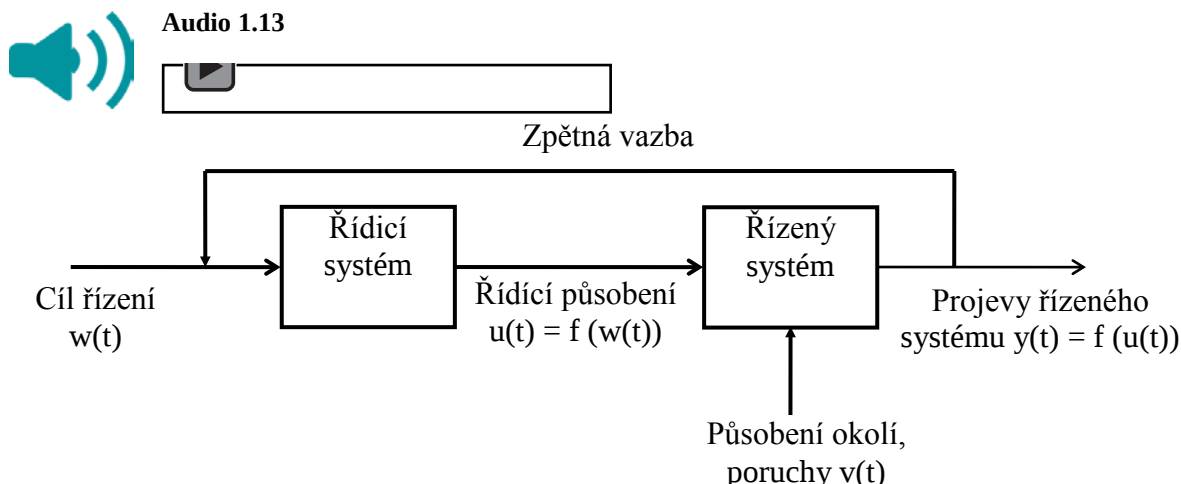
Automatické ovládání - automatizuje práci stroje, zařízení, ale protože chybí složka měření, může dojít při poruše k opakované nekvalitní výrobě.

Samočinná (automatická) regulace - samočinné udržování hodnot regulované veličiny podle zadaných podmínek a naměřených hodnot této veličiny. Jedná se tedy o řízení se zpětnou kontrolou měřením - základní řídicí jednotkou je tzv. regulátor. Samočinná regulace má hlavní uplatnění tam, kde se hodnoty provozních veličin případně i parametry procesu neustále mění.

1.4 ŘÍZENÍ SYSTÉMŮ

Veškeré chování systémů budeme dále zkoumat z hlediska řízení. Řízení v nejobecnějším smyslu je možno charakterizovat jako informační působení mezi jednotlivými systémy - subjektem a objektem řízení. Z hlediska kybernetiky řízení chápeme jako cílevědomé působení řídicího systému na systém řízený za účelem dosažení vytýčeného cíle (obr. 12).

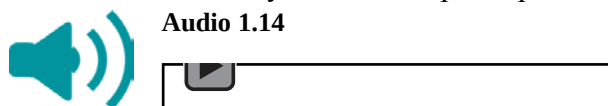




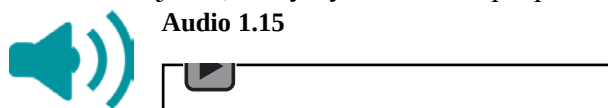
Obr. 12 Obecný princip řízení

Řídicí působení je prováděno podle určitého funkčního algoritmu, který je matematicky popsán tzv. řídicí funkcí, která je v podstatě matematickým vyjádřením vztahu mezi řídicím působením a cílem řízení (např. stavovou rovnicí, přenosem apod.)

Řídicí systém je fyzikální zařízení, které realizuje funkční algoritmus řízení tím, že generuje řídicí působení $u(t)$ na řízený systém; matematickým popisem tohoto systému je tzv. řídicí funkce. Jako řídicí systém lze chápat např. člověka, regulátor, řídicí počítač apod.



Řízený systém je fyzikální zařízení, které chceme řídit (např. technologický proces, podnik), matematickým popisem abstrahujeme od jeho fyzikální podstaty a vytváříme model vlastního reálného objektu, který využíváme např. při simulaci systému na počítači.



Můžeme rozlišit některé způsoby cílevědomého působení na systém. Je proto účelné rozlišovat mezi sledováním (monitorováním systému) a vlastním řízením systému.

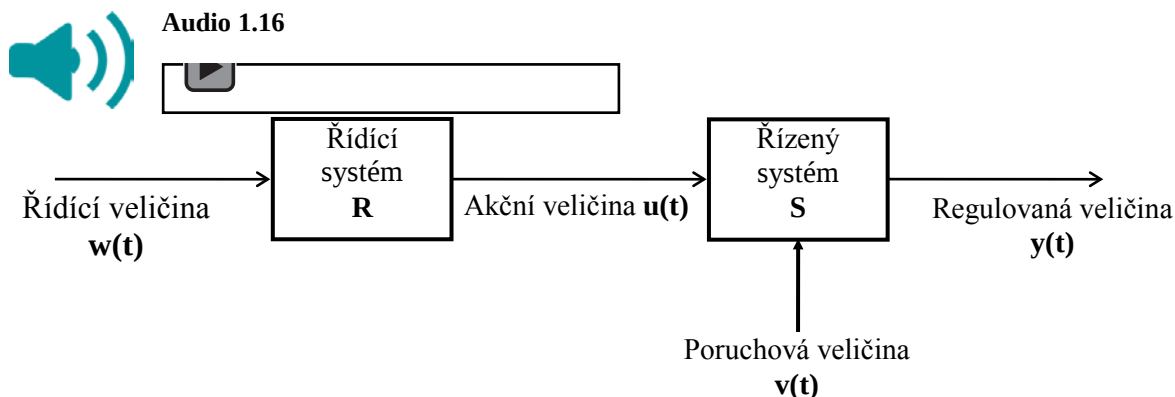
- **Sledováním (monitorováním) systému** rozumíme spojitě či přetržitě získávání informací o stavu systému bez současného působení na systém.
- **Řízení** je cílevědomé působení řídicího systému na systém řízený za účelem dosažení vytýčeného cíle.

Rozlišujeme dva základní druhy řízení podle toho, zda je obvod řízení otevřen, tzv. ovládání nebo uzavřen, tzv. regulaci.

1.4.1 Ovládání

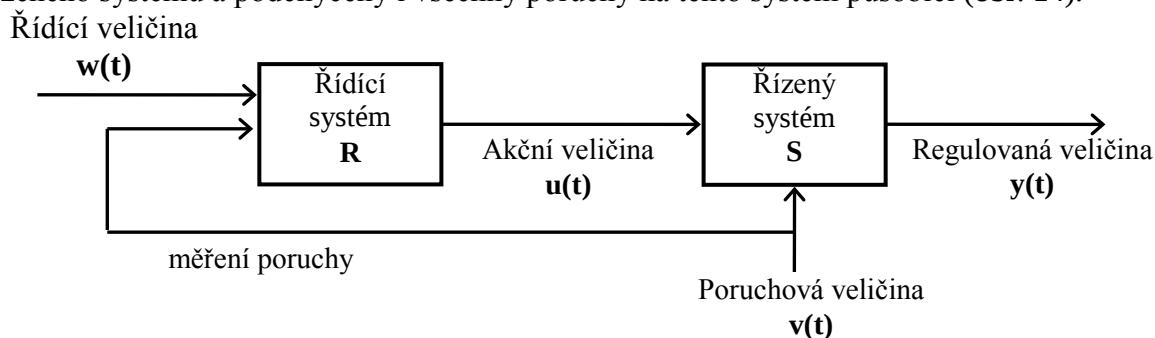
Ovládání neboli „FEED FORWARD“ je řízení v otevřeném obvodu (obr. 13), kdy se k řízení využívá jen apriorních informací a nijak se nekontroluje jeho skutečný stav (není zpětná vazba). Také je tento způsob řízení označován jako řízení podle modelu, protože řídicí systém využívá k řízení předem definovaného matematického modelu.





Obr. 13 Schéma principu ovládání

Ovládání je možno s úspěchem použít je tam, kde můžeme s jistotou tvrdit, že výstupní veličina řízeného systému $y(t)$ bude přesně taková, jako ji předpokládá řídicí systém. Aby byl tento požadavek splněn, musí být do nejmenších podrobností znám matematický popis řízeného systému a podchyceny i všechny poruchy na tento systém působící (obr. 14).

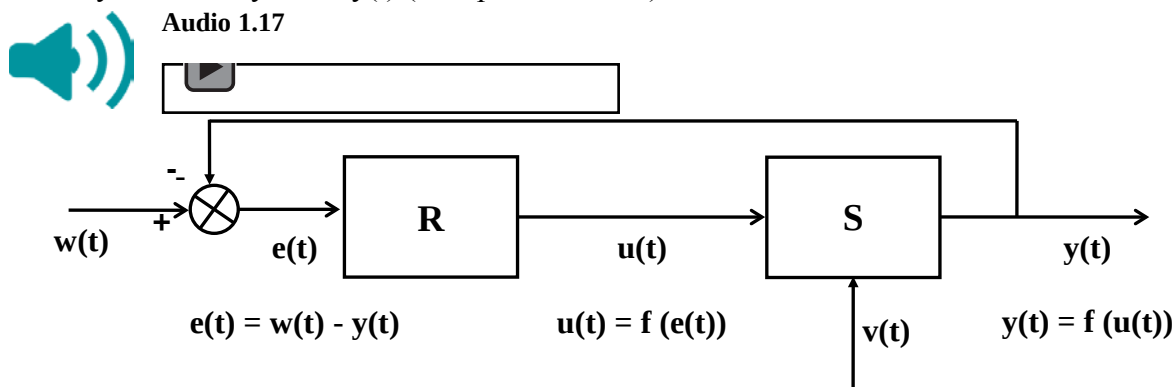


Obr. 14 Schéma principu ovládání s měřením poruchy

Opomenutí některých vazeb vede k nekontrolované odchylce skutečné hodnoty výstupní veličiny řízeného systému $y(t)$ od žádané hodnoty $w(t)$. Proto se ovládání používá převážně u řízení logického (spínače, výtahy, semaforey), kde vztah mezi výstupem a vstupem řízeného systému je popsán logickými funkcemi a výstup je svou povahou (logické 0 a 1) prakticky nezávislý na poruchách.

1.4.2 Regulace

Regulace neboli „FEED BACK“ je řízení v uzavřeném obvodu (obr. 15), kde se k řízení využívá informace o skutečném stavu řízeného systému, a to obvykle měřením výstupní veličiny řízeného systému $y(t)$ (má zpětnou vazbu).



Obr. 15 Schéma principu regulace

Řídicí systém porovnává žádanou hodnotu regulované veličiny $w(t)$ se skutečnou hodnotou regulované veličiny $y(t)$. Existuje-li mezi $w(t)$ a $y(t)$ odchylka, působí řídicí systém akční

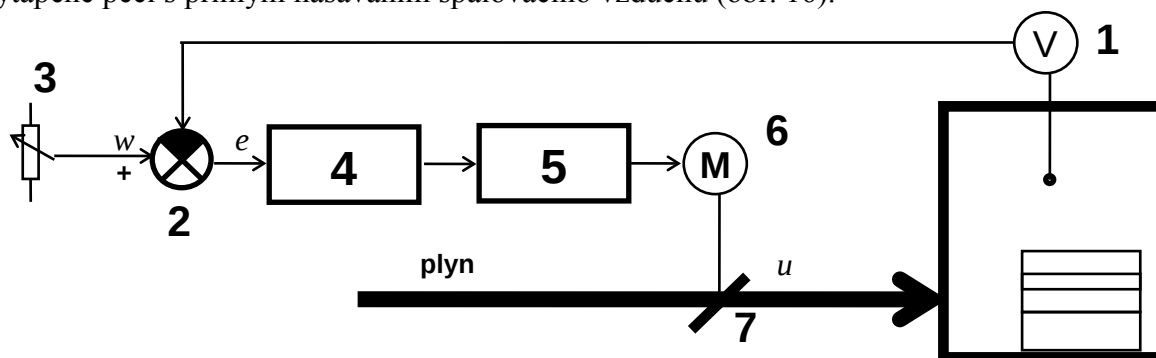


veličinou $u(t)$ na řízený systém tak, aby byla odchylka $e(t)$ odstraněna. Cílem regulace je tedy udržení nulové (minimální) odchylky, která bývá způsobena jednak změnami řídicí veličiny, ale hlavně působením poruch $v(t)$. Z popisu principu regulace je patrné, že se zde pro řízení bezprostředně nevyužívá matematického popisu řízeného systému a většinou se ani neměří poruchy vstupující do systému. Přesto je tento princip řízení tak univerzální, že dovoluje řídit systémy s nejrůznějšími dynamickými vlastnostmi, dokonce i některé systémy nestabilní. Matematický popis řízeného systému je využíván pro nastavení prvků řídicího systému, aby tak bylo dosaženo optimálního regulačního pochodu.

Pro řízení složitých dynamických systémů se stále více používá kombinace obou typů řízení, kdy jsou řízení s využitím matematických modelů korigována prostřednictvím zpětných vazeb - hovoříme o kombinaci řízení feed forward a feed back. Dopředné řízení pomocí modelů je rychlejší a jednodušší, ale náročnější na vytvoření co nejpřesnějšího modelu, podle kterého má řídicí proces probíhat. Řízení se zpětnou vazbou je zase pomalejší, ale má výhodu ve schopnosti korigovat regulační veličinu.

Příklad funkce regulačního obvodu

Základní funkci regulačního obvodu vysvětlíme na příkladu regulace teploty v plynu vytápěné peci s přímým nasáváním spalovacího vzduchu (obr. 16).



Obr. 16 Regulace teploty v plynu vytápěné samonasávací peci

Teplota v peci - regulovaná veličina y - je měřena termočlánkem 1. Příkon plynu do pece - akční veličina u - je ovládán otevíráním škrticí klapky 7 v potrubí plynu před hořákem. Klapku natáčí elektrický motor 6.

Žádaná hodnota regulované veličiny - teploty v peci w - se zadává potenciometrem 3 jako elektrické napětí a porovnává v porovnávacím členu 2 se skutečnou hodnotou regulované veličiny - naměřenou teplotou y . Rozdíl mezi těmito hodnotami je regulační odchylka $e = w - y$. Časový průběh regulační odchylky vyhodnocuje regulátor 4 a vypočítává časový průběh akční veličiny u . Výstup regulátoru 4 - vlastně ústředního členu regulátoru - je zesílen koncovým zesilovačem 5, který napájí motor pohánějící regulační klapku v potrubí plynu. Základním požadavkem na funkci regulátoru je dosažení nulové regulační odchylky, tedy shody mezi žádanou hodnotou w a skutečnou hodnotou regulované veličiny y . Je-li v peci nízká teplota, je regulovaná veličina $y < w$, tedy regulační odchylka e je kladná a akční veličina u - přívod plynu do pece narůstá. Při překročení teploty v peci nad žádanou hodnotou se regulační odchylka stává zápornou a akční veličina u klesá - příkon plynu do pece se zmenšuje.

Při provozu pece vznikají různé vlivy, které působí změny regulované veličiny - teploty v peci. Jsou to např.:

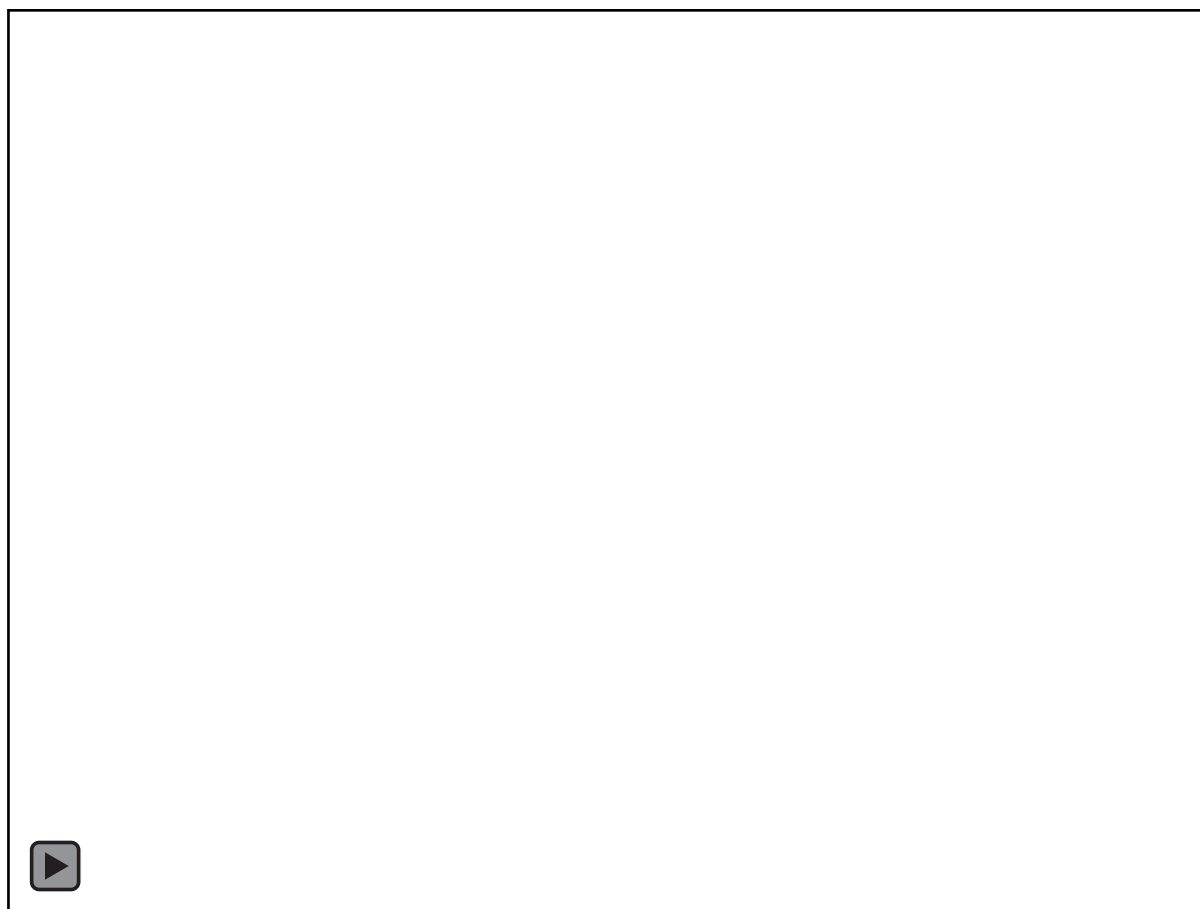
- změna tlaku plynu (způsobuje změnu průtoku a tedy i změnu teploty v peci),



- změna hmotnosti vsázky,
- změna tepelného obsahu vsázky (jiný příkon tepla bude potřeba, jestliže bude vsázka studená, jiný na konci ohřevu),
- otevření sázecích vrat pece a další.

Vznik těchto veličin nemůžeme vždy předvídat a kompenzovat. Tyto veličiny nazýváme poruchovými veličinami v a je tudíž další základní funkcí zpětnovazebního řízení kompenzace poruch působících na regulovanou veličinu.

Regulátor má stále informaci o žádané i skutečné hodnotě regulované veličiny, tedy o záměru řízení i o skutečném stavu řízené veličiny. Informace z výstupu - regulovaná veličina - se přivádí zpět na vstup regulačního obvodu - tvoří zpětnou vazbu, proto i název **zpětnovazební řízení, zpětnovazební regulační obvod**.



Animce 1.1 *Regulace teploty v peci*

1.4.3 Stupně automatického řízení

Řízení je možno vyčleňovat z různých pohledů a hledisek. Některé z nich jsou zde vyjmenovány.

Podle stupně automatizace, tj. podle účasti člověka na řízení, rozlišujeme obecně tyto druhy řízení:

- **automatické**, kdy je řízení realizované pouze technickými prostředky bez bezprostřední účasti člověka na řízení,



- **automatizované**, kdy je řízení realizované technickými prostředky s částečnou bezprostřední účastí člověka na řízení,
- **neautomatické** (ruční řízení), kde vlastní řídicí funkce jsou realizovány jen člověkem.



Audio 1.18



- Druhy regulace dle určení řídicí veličiny je možno takto:
- **stabilizace** je regulace na konstantní žádanou hodnotu regulované veličiny $w(t)$.
- **programová regulace** je regulace, kdy se řídicí veličina $w(t)$ mění podle předem stanoveného programu. Příkladem mohou být různé spotřebiče s přednastavenými programy, např. pračka.
- **vlečná regulace (kaskádní)** je regulace, kdy se řídicí veličina $w(t)$ mění podle určité technologicky významné veličiny (nikoliv v čase podle programu).
- **extremální regulace** je regulace, kdy se hledá extrém jednoduché funkce, je to optimalizace o dvou proměnných, vždy je nutno dělat experiment.

Tyto druhy regulace patří mezi vyšší stupně automatického řízení:

- **optimální regulace** je regulace, kdy se hledá optimum funkce většího množství proměnných (funkcí). V průběhu regulace se udržuje proces v jistém smyslu optimální. Může to být jak optimální průběh regulačního pochodu, tak i optimální průběh vlastního technologického procesu dosahujícího např. nejlepších ekonomických výsledků.
- **adaptivní regulace** je regulace, kdy se v procesu řízení regulátor samostatně přizpůsobuje změnám regulované soustavy, používá se především tehdy, mění-li soustava v průběhu řízení nezanedbatelně své vlastnosti. Je tak dosahováno průběžně vysoké kvality regulace.
- **víceparametrová regulace** reguluje současně více veličin, které spolu souvisí.



2 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Bloková algebra a možné propojení prvků v obvodech řízení.
- Základní typy nelinearit.
- Obecný princip řízení.
- Ovládání – řízení FEED FORWARD.
- Regulace – řízení FEED BACK.
- Druhy řízení podle stupně řízení.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JANČÍKOVÁ, Z. *Teorie systémů*. Studijní opory. VŠB-TU Ostrava, 2012.
- [2] <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TS/index.htm>
- [3] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. 2. přeprac. vyd., Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-148-9.
- [4] HANUŠ, B., BALDA, M. *Základy technické kybernetiky*. 1. vyd., Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1980.
- [5] 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.
- [6] HANUŠ, B., BALDA, M. *Základy technické kybernetiky*. 1. vyd., Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1980.
- [7] KOTEK, Z., VYSOKÝ, P., ZDRÁHAL, Z. *Kybernetika*. Praha: SNTL, 1990.
- [8] TOMIS, L., HEGER, M., BALCOVÁ, J., KADLČÍK, I. *ASŘ TP v hutích - výpočetní a laboratorní cvičení*. 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. ISBN 80-7078-079-7.
- [9] VÍTEČKOVÁ, M., VÍTEČEK, A. *Základy automatické regulace*. 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1068-9.
- [10] VORÁČEK, R. *Automatizace a automatizační technika*. 2, Automatické řízení. 1. vyd., Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0796-5.

