

## SPOJITÉ REGULÁTORY

Nespojité regulátory mají většinou jednoduchou konstrukci a jsou levné, ale jsou nevhodné tím, že neudržují regulovanou veličinu přesně na žádané hodnotě, neboť regulovaná veličina i v bezporuchovém stavu neustále kmitá kolem žádané hodnoty. Je to způsobeno tím, že jejich akční veličina může nabývat pouze několika pevně stanovených hodnot. Tím je i dáno, že do soustavy přivádíme střídavě více nebo méně energie nebo látky, než kolik by bylo třeba pro udržení regulované veličiny na žádané hodnotě. Chceme-li odstranit trvalé periodické kmitání regulované veličiny, musíme do soustavy přivést vždy takové množství látky nebo energie, která je třeba pro udržení regulované veličiny na žádané hodnotě. Musíme tedy mít k dispozici regulátor, u kterého lze měnit hodnotu jeho akční veličiny plynule - spojité regulátor. Výstupní veličina spojitěho regulátoru (akční veličina) je spojitou funkcí jeho vstupní veličiny (regulační odchylky). Z toho vyplývá, že reg. veličina neustále ovlivňuje akční veličinu, která může nabývat libovolné hodnoty od  $x = 0$  až po  $x = x_{\max}$ .

Regulátory jsou obvykle konstruovány tak, aby bylo možné jejich vlastnosti volit, a tím je co nejlépe přizpůsobit dané regulované soustavě. Tato volba vlastností regulátoru spočívá v tom, že můžeme volit závislost mezi výstupní a vstupní veličinou regulátoru.

### 1. Proporcionální regulátor (regulátor P)

Nejjednodušší závislost mezi výstupní a vstupní veličinou regulátoru je přímá úměrnost. Regulátor, který v rovnovážném stavu uvedenou závislost splňuje, se nazývá **proporcionální regulátor**. Jeho rovnice má tvar:

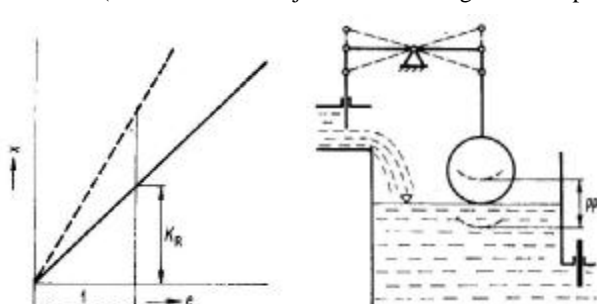
$$x = K_R \cdot e$$

kde  $K_R$  je součinitel přenosu regulátoru neboli zesílení.

Protože platí  $e = y_w - y$ , znamená to, že regulátor pracuje tak, že roste-li hodnota regulované veličiny, klesá hodnota akční veličiny, a naopak. Pro danou regulovanou soustavu je součinitel přenosu konstantní a nelze jej měnit. U regulátoru (na rozdíl od regulované soustavy) máme možnost součinitel přenosu měnit (můžeme jej nastavovat). Tím je dána i možnost ovlivňovat vlastnosti regulátoru.

#### Statické vlastnosti

Statické vlastnosti proporcionálního regulátoru jsou dány jeho statickou charakteristikou. Z ní lze učinit závěr, že se zvětšujícím se součinitelem přenosu regulátoru se zvětšuje jeho citlivost a přesnost, zatímco jeho stabilita (a tím i stabilita jím řízeného regulačního pochodu) se zmenšuje. Přitom v praxi od regulátoru



Obr.1.: Statická charakteristika regulátoru P a pásmo proporcionality

vyžadujeme, aby byl co nejcitlivější, ale aby byl zároveň stabilní. Správné nastavení jeho součinitele přenosu je proto vždy kompromisem mezi těmito dvěma požadavky. U proporcionálního regulátoru se však místo součinitele přenosu častěji udává tzv. pásmo proporcionality, označované  $pp$ . Pásmo proporcionality (obr. 1) je rozsah, ve kterém se musí změnit regulovaná veličina (popř. regulační odchylka), aby se regulační orgán přestavil z jedné krajní polohy do druhé. Hodnota pásma proporcionality se udává v procentech z celého regulačního rozsahu regulátoru. Mezi oběma

uvedenými charakteristickými veličinami lze odvodit vztah:

$$pp = \frac{1}{K_R} 100 (\%)$$

#### Dynamické vlastnosti

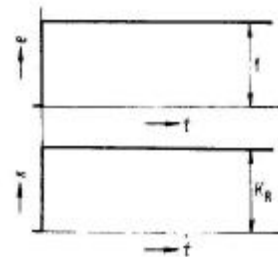
Pro posouzení vlastností regulačních obvodů je důležité znát nejen ustálené stavy, ale hlavně časové průběhy signálů jednotlivých členů obvodu. Známe-li ke známému časovému průběhu vstupního signálu časový průběh výstupního signálu, máme tak určeny přenosové vlastnosti vyšetřovaného členu. Vztah mezi oběma signály je zpravidla popsán diferenciální rovnicí. K určení přenosových vlastností lze však použít i jiné metody, jejichž výsledek závisí na tom, jakého vstupního signálu použijeme.

Obecně platí, že zavedeme-li na vstup vyšetřovaného členu vzhruh  $x_1$ , potom odezva  $x_2$  nám dává obraz o dynamických vlastnostech tohoto členu. Aby byly výsledky a závěry srovnatelné; vybíráme vždy určité typické vstupní signály, především tzv. **jednotkový skok**.

Pro čas  $t < 0$  má jednotkový skok nulovou hodnotu, v čase  $t = 0$  se změní na hodnotu 1 a tuto velikost zachovává též pro  $t > 0$ . Při pokusech nemusí mít skoková změna vždy jednotkovou hodnotu, ale volíme ji tak, aby odezva zůstala v rozsahu normálních provozních podmínek. Potom velikost odezvy přepočítáme na jednotkový skok.

Odezvu na jednotkový skok nazýváme **přechodová funkce**. Její grafické znázornění je **přechodová charakteristika**. Vyšetřování členů regulačního obvodu pomocí přechodových charakteristik je pro svou

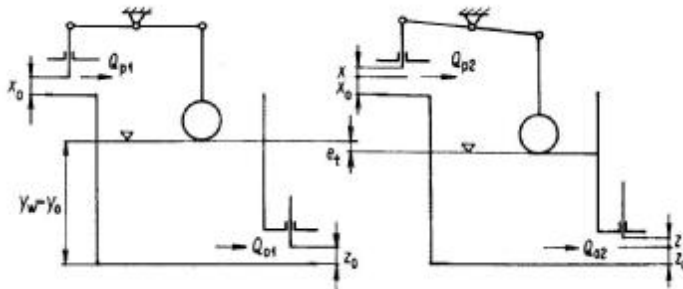
jednoduchost velmi oblíbené. Nevyžaduje zpravidla žádné speciální přístroje, nutné je jen změřit skokový vzruch a odezvu. Při pomalých výstupních dějích lze průběh odezvy číst podle stopek, při rychlých změnách je vhodné použít paměťový osciloskop nebo počítač. Dynamické vlastnosti proporcionálního regulátoru se nejčastěji vyjadřují přechodovou charakteristikou: její průběh je na obr. 2. Z obrázku je zřejmé, že při jednotkové skokové změně vstupní veličiny regulátoru se výstupní veličina regulátoru ustálí velmi rychle (téměř okamžitě) na nové hodnotě.



Obr. 2.: Přechodová charakt. regulátoru P

**Souhrn vlastností proporcionálního regulátoru**

Proporcionální regulátor je velmi jednoduchý, levný a stabilní. Je však nevýhodný tím, že pracuje s *trvalou regulační odchylkou*. Ukážeme to na příkladu regulace výšky hladiny v nádrži.



Obr 3. Vznik trvalé regulační odchylky u regulátoru P  
a) výchozí (rovnovážný) stav, b) stav po vyvolané změně

Je-li regulovaná soustava v rovnovážném stavu (obr. 3), pro který platí, že přítok kapaliny  $Q_{p1}$ , se rovná odtoku  $Q_{o1}$ , výška hladiny  $y_0$  se nemění, je konstantní. Zvětšíme-li však odtok na  $Q_{o2}$ , vznikne nerovnovážený stav mezi přítokem a odtokem. Hladina začne klesat a tuto její změnu sleduje plovák, který prostřednictvím pákového převodu zvětšuje přítok kapaliny do regulované soustavy. Tento nerovnovážený stav trvá tak dlouho, dokud se odtok  $Q_{o2}$  nevyrovná s přítokem  $Q_{p2}$ . Hladina se však ustálí na jiné hodnotě, která se od

původní liší o hodnotu  $e_t$ , což je trvalá regulační odchylka.

Trvalou regulační odchylku nelze u proporcionálního regulátoru odstranit, můžeme však ovlivnit její velikost, a to volbou pásma proporcionality. Jestliže pásmo proporcionality zvětšujeme, zvětšuje si i trvalá regulační odchylka. Jestliže pásmo proporcionality zmenšujeme, trvalá regulační odchylka se sice zmenšuje, ale zmenšuje se i stabilita regulátoru.

Chceme-li, aby regulátor pracoval bez trvalé regulační odchylky, musíme zvolit jiný typ regulátoru než proporcionální.

**2. Integroční regulátor (regulátor I)**

U integračního regulátoru každé hodnotě vstupní veličiny odpovídá úměrná změna rychlosti výstupní veličiny. Rovnice integračního regulátoru má tvar:

$$x' = \frac{K_R}{T_i} e \quad \text{Po úpravě dostaneme:} \quad x = \frac{K_R}{T_i} \int e dt$$

kde  $T_i$  je integrační časová konstanta.

Vzhledem k tomu, že hodnota výstupní veličiny je úměrná integrálu vstupní veličiny, nazýváme tento regulátor integrační regulátor.

**Statické vlastnosti**

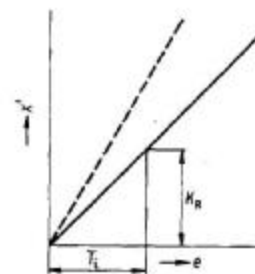
Statické vlastnosti integračního regulátoru lze ovlivnit nastavením jeho integrační časové konstanty  $T_i$ , jeho součinitel přenosu  $K_R$  je konstantní. Ze statické charakteristiky integračního regulátoru lze vyčíst, že se zmenšující se integrační časovou konstantou se zvětšuje citlivost a přesnost regulátoru, zatímco jeho stabilita se naopak zmenšuje.

**Dynamické vlastnosti**

Dynamické vlastnosti integračního regulátoru se nejčastěji vyjadřují přechodovou charakteristikou; její průběh je na obr. 5. Změní-li se vstupní veličina skokem ( $e=1$ ), pak

$$x = \frac{K_R}{T_i} \int e dt \quad x = \frac{K_R}{T_i} \int dt \quad x = \frac{K_R}{T_i} t$$

Z přechodové charakteristiky je zřejmý astatismus (nestabilita) integračního regulátoru. Integrační časovou konstantu  $T_i$  lze definovat jako dobu, za kterou výstupní veličina integračního regulátoru dosáhne stejné



Obr.: 4. Statická charakteristika regulátoru I

hodnoty, jaké by dosáhla kdyby přenos regulátoru byl pouze proporcionální a pásmo proporcionality by bylo 100% .

**Souhrn vlastností integračního regulátoru**

Jeho nejvýznamnější vlastností je skutečnost, že pracuje bez trvalé regulační odchylky. Vzhledem ke svému astatismu není vhodný pro regulaci astatických regulovaných soustav.

**3. Derivační regulátor (regulátor D)**

U integračního regulátoru odpovídala každé hodnotě vstupní veličiny přímo úměrná změna rychlosti výstupní veličiny. Nyní budeme zjišťovat vlastnosti regulátoru, u kterého by naopak změně rychlosti vstupní veličiny odpovídala přímo úměrná hodnota veličiny výstupní. Rovnice takto získaného regulátoru má tvar

$$x = T_d K_R e'$$

kde  $T_d$  je derivační časová konstanta.

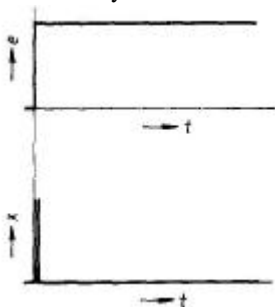
Vzhledem k tomu, že derivaci vstupní veličiny odpovídá přímo úměrná hodnota výstupní veličiny, nazýváme tento regulátor derivační regulátor.

**Statické vlastnosti**

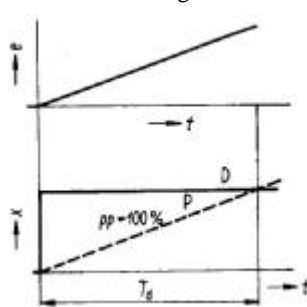
Statické vlastnosti derivačního regulátoru lze ovlivňovat nastavením jeho jediné charakteristické veličiny - derivační časové konstanty  $T_d$ . Jeho součinitel přenosu  $K_R$  je konstantní a nelze jej měnit. Ze statické charakteristiky derivačního regulátoru lze vyčíst, že se zvětšující se derivační časovou konstantou se zvětšuje citlivost a přesnost regulátoru, zatímco jeho stabilita se naopak zmenšuje.

**Dynamické vlastnosti**

Dynamické vlastnosti derivačního regulátoru se nejčastěji vyjadřují prostřednictvím přechodové charakteristiky (obr. 7). Derivační časová konstanta je doba, za kterou výstupní veličina derivačního regulátoru dosáhne stejné hodnoty, jaké by dosáhla, kdyby přenos regulátoru byl pouze proporcionální a pásmo proporcionality by bylo 100%. Abychom mohli uvedenou definici derivační časové konstanty vyjádřit i graficky, musíme na vstup regulátoru přivést jinou změnu než jednotkový skok (obr. 8).



Obr. 7.: Přechodová charakteristika regulátoru D



Obr.8. Grafické vyjádření definice derivační časové konstanty

hodnotu regulační odchylky, ale pouze na změnu její rychlosti, neplní hlavní úkol regulátoru, tj. neodstraňuje regulační odchylku, a proto jej nelze použít samostatně. Proto se používá pouze ve spojení s předcházejícími typy regulátorů.

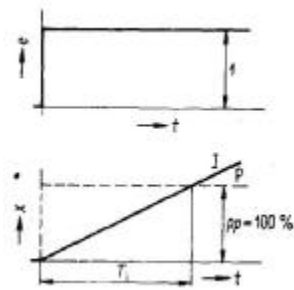
**4. Sdružené regulátory**

Vlastnosti sdružených regulátorů jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů. Teoreticky bychom se mohli setkat se čtyřmi druhy těchto regulátorů, v praxi se však používají pouze tři z nich, a to regulátory PI, regulátory PD a regulátory PID.

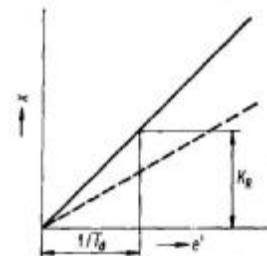
**Proporcionálně integrační regulátor (regulátor PI)**

Jeho vlastnosti jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů P a I. Tomu odpovídá i jeho

rovnice: 
$$x = K_R e + \frac{K_R}{T_i} \int e dt$$



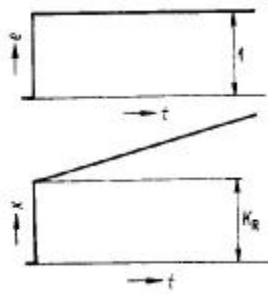
Obr. 5.: Přechodová charakteristika regulátoru



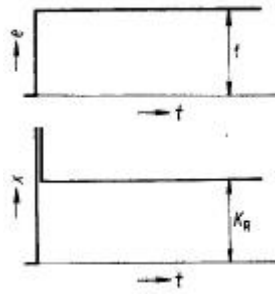
Obr.6.: Statická charakteristika regulátoru D

**Souhrn vlastností derivačního regulátoru**

Derivační regulátor se používá pro zrychlení regulačního pochodu. Vzhledem k tomu, že tento regulátor nereaguje na ustálenou hodnotu regulační odchylky, a proto jej nelze použít samostatně. Proto se používá pouze ve spojení s předcházejícími typy regulátorů.



Obr. 9.: Přechodová charakteristika regulátoru PI



Obr. 10.: Přechodová charakteristika regulátoru PD

Přechodová charakteristika (obr. 9) regulátoru PI je dána součtem přechodových charakteristik obou jednoduchých regulátorů. Z jejího průběhu lze vyčíst, že do regulačního pochodu zasáhne nejprve proporcionální složka regulátoru a teprve potom složka integrační. Tento regulátor pracuje bez trvalé regulační odchylky.

**Proporcionálně derivační regulátor (regulátor PD)**

Vlastnosti tohoto sdruženého regulátoru jsou dány součtem vlastností jednoduchých regu-

látorů (P a D). Jeho rovnice má tvar

$$x = K_R e + K_R T_d e'$$

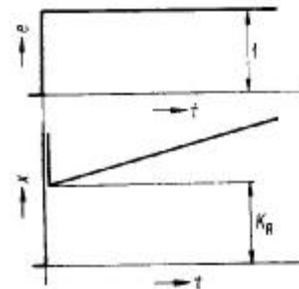
Výsledná přechodová charakteristika regulátoru PD (obr. 10) je dána součtem přechodových charakteristik obou jednoduchých regulátorů. Z jejího průběhu lze vyčíst, že do regulačního pochodu nejprve zasáhne derivační složka regulátoru, která celý regulační pochod urychlí a teprve později se projeví proporcionální složka, která celý regulační pochod stabilizuje. Tento regulátor však pracuje s trvalou regulační odchylkou.

**Proporcionálně integračně derivační regulátor (regulátor PID)**

Jeho vlastnosti jsou dány součtem vlastností jednoduchých regulátorů (P, I, D) a tomu odpovídá jeho rovnice:

$$x = K_R e + \frac{K_R}{T_i} \int e dt + K_R T_d e'$$

Přechodová charakteristika regulátoru PID (obr. 11) je dána součtem přechodových charakteristik jednoduchých regulátorů (P, I, D). Z jejího průběhu lze vyčíst, že do regulačního pochodu nejprve zasáhne derivační složka, později proporcionální složka a teprve na závěr integrační složka. Uvedený sdružený regulátor PID pracuje bez trvalé regulační odchylky a lze jej hodnotit jako nejdokonalejší spojitý regulátor.



Obr. 11.: Přechodová charakteristika regulátoru PID

Pojem	Označení	Definice
Spojité regulátor		Regulátor, u něhož je výstupní veličina spojitou funkcí vstupní veličiny
Proporcionální regulátor		Spojité regulátor, u něhož okamžitá hodnota výstupní veličiny je přímo úměrná hodnotě vstupní veličiny.
Integrační regulátor		Spojité regulátor, u něhož je výstupní veličina úměrná integrálu vstupní veličiny.
Derivační regulátor		Spojité regulátor, u něhož je výstupní veličina úměrná derivaci vstupní veličiny.
Sdružený regulátor		Souhrnný název pro spojité regulátory s několika funkčními členy.
Součinitel přenosu regulátoru	$K_R$	Poměr změny akční veličiny ke změně regulované veličiny.
Pásmo proporcionality	pp	Krajní meze, mezi nimiž se musí změnit regulovaná veličina, aby regulátor P přestavil regulační orgán z jedné krajní polohy do druhé.
Trvalá regulační odchylka	$e_t$	Odchylka skutečné hodnoty regulované veličiny od žádné hodnoty v ustáleném stavu.
Integrační časová konstanta	$T_i$	Doba, která uplyne od okamžiku připojení skokového vzruchu ke vstupu regulátoru do okamžiku, kdy je složka výstupního signálu způsobená integrační činností stejná jako složka způsobená proporcionální činností regulátoru.
Derivační časová konstanta	$T_d$	Doba, která uplyne od okamžiku připojení vzruchu s konstantní rychlostí změny signálu ke vstupu regulátoru do okamžiku, kdy je složka výstupního signálu způsobená derivační činností regulátoru stejná jako složka způsobená proporcionální činností regulátoru.

## 5. REGULAČNÍ OBVODY SE SPOJITÝMI REGULÁTORY

U spojitého regulátoru lze nastavit akční veličinu na libovolnou hodnotu. Tím je umožněno udržovat regulovanou veličinu na žádané hodnotě bez kmitání. To je velká přednost spojitých regulátorů v porovnání s nespojitými. Spojité regulátory mají i některé nevýhody, riapř. regulátory P a PD pracují s trvalou regulační odchylkou.

### 5.1. Regulační pochod a jeho stabilita

Regulační pochod je průběh regulované veličiny při změnách řídicích a poruchových veličin a při současném působení regulátoru.

Průběh regulačního pochodu závisí především na vlastnostech regulované soustavy a regulátoru. Vzhledem k tomu, že existuje velké množství regulovaných soustav a k dispozici máme několik typů regulátorů, jejichž vlastnosti můžeme měnit nastavením jejich charakteristických veličin ( $p_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$ ), může mít regulační pochod velmi rozmanitý průběh (obr. 12). Regulační pochody řízené spojitým regulátorem lze rozdělit na stabilní (vhodné pro regulační účely) a nestabilní, které jsou pro regulační účely nepoužitelné, protože jednak nesplňují požadavky kladené na udržování regulované veličiny na žádané hodnotě a navíc vedou k rychlému opotřebenění zařízení.

Vznik nestability regulačního pochodu může zavinit jak regulovaná soustava, tak regulátor. Vícekapacitní regulované soustavy a soustavy s dopravním zpožděním se regulují obtížně. Při regulaci těchto soustav může nastat tento případ: Regulátor zaznamená regulační odchylku až s určitým zpožděním po jejím vzniku a uvede v činnost akční člen. Než se však změna provedená akčním členem dostane nazpět k regulátoru, akční člen se přestavuje dále a může způsobit novou odchylku, ale opačného smyslu. Regulátor zjistí dodatečně tuto novou odchylku a začne přestavovat akční člen zpět. Vlivem zpoždění v soustavě však dojde k další nové odchylce atd. Regulovaná veličina bude trvale kmitat, regulační pochod bude nestabilní.

Příčinou nestability regulačního pochodu může být i to, že byl použit regulátor, který není vhodný pro regulaci dané soustavy. Častější příčinou nestability je chybné nastavení charakteristických veličin (konstant) regulátoru. Použijeme-li např. proporcionální regulátor pro regulaci dané soustavy, můžeme volbou úzkého pásma proporcionality (velkého součinitele přenosu; tj. zesílení) vyvolat nestabilní regulační pochod.

Dále se zaměříme na volbu vhodného typu regulátoru pro danou regulovanou soustavu a na optimální nastavení jeho konstant tak, aby získaný regulační pochod byl nejen stabilní, ale současně i optimální.

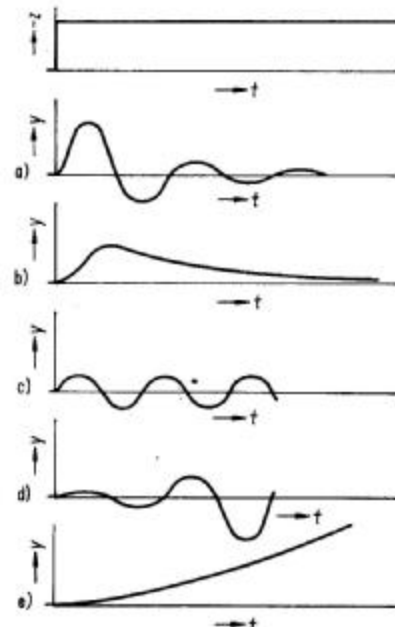
### 5.2. Kvalita regulačního pochodu

V praxi existují různé metody posuzování kvality regulačního pochodu. Vzhledem k tomu, že velmi často posuzujeme kvalitu regulačního pochodu z přechodové charakteristiky, použijeme pro posouzení jeho kvality tato kritéria:

- minimální přeregulování  $y_m$ ,
- minimální regulační plocha (na obr. 13 šrafovaně),
- minimální doba regulace  $T$ .

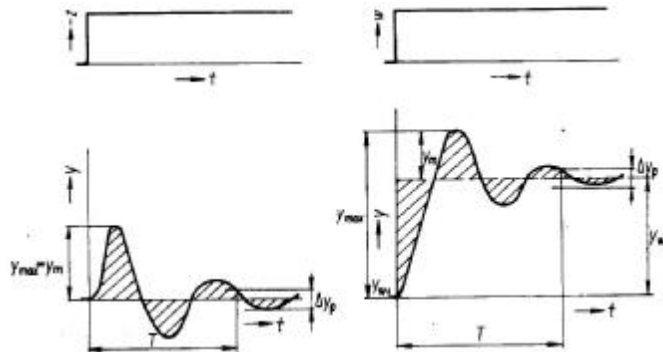
Zatímco první dvě kritéria jsou jednoznačná, musíme pro jednoznačnost třetího z nich (doba regulace) určit, kdy považujeme regulační pochod za skončený. **Dobu regulace** definujeme jako dobu, za kterou se odchylka regulované veličiny po daném vzruchu natrvalo zmenší pod hodnotu necitlivosti regulátoru nebo pod jinou stanovenou hodnotu ( $\Delta y_p$ ).

Pokud by se podařilo splnit všechna kritéria současně, říkáme, že získaný regulační pochod je optimální (obr. 56). Provedeme-li však rozbor



Obr. 12.: Přehled typických regulačních pochodů

- periodický stabilní regulační pochod,
- aperiodický stabilní regulační pochod
- periodický regulační pochod na hranici stability
- periodický nestabilní regulační pochod
- aperiodický nestabilní regulační pochod



Obr. 13.: Optimální regulační pochod

jednotlivých kritérií, zjistíme, že jejich požadavky jsou navzájem protichůdné. Z toho vyplývá, že nemůžeme posuzovat určitý regulační pochod tak, aby současně vyhovoval všem uvedeným kritériím. Proto podle druhu regulované veličiny a účelu regulované soustavy zvolíme jedno z kritérií za hlavní a k ostatním kritériím pouze přihlídneme. Například při regulaci elektrických veličin požadujeme především co nejmenší přeregulování, neboť při větším napětí by se mohly poškodit přístroje. Naopak u regulace pohonů nás především zajímá krátká doba regulace a až na druhém místě je velikost přeregulování. Při regulaci průtoku klademe důraz na co nejmenší regulační plochu, neboť její velikost přímo souvisí s odchylkou proteklého množství.

### 5.3. Volba typu regulátoru

Typ regulátoru má značný vliv na kvalitu regulačního pochodu. Připomeňme si, že v praxi se používají regulátory P, PI, PD, PID a méně často I. Regulátory se širokými možnostmi nastavení jednotlivých konstant (charakteristických veličin) sice umožní realizaci kvalitního regulačního pochodu, jsou však drahé a složité a vyžadují kvalifikovanou obsluhu i údržbu. V některých případech ani použití drahých regulátorů nevede ke zlepšení kvality regulačního pochodu. Jednoduché, a tedy i levné regulátory se snadno seřizují, ale mají tu nevýhodu, že často nejsou schopny zvládnout danou regulační úlohu. Proto je volba vhodného typu regulátoru poměrně složitou záležitostí. Abychom přispěli k usnadnění této volby, uvedeme alespoň některá hlediska, která ji ovlivňují.

Pro volbu typu regulátoru jsou rozhodující především požadavky na kvalitu regulačního pochodu - musíme vědět, zda lze připustit regulační pochod s trvalou regulační odchylkou. V případě, že trvalou regulační odchylku připustit nemůžeme, musíme volit typ regulátoru obsahující integrační složku; v opačném případě tuto složku regulátor obsahovat nemusí. Dále můžeme volit typ regulátoru podle vlastností regulované soustavy, jak je uvedeno v tab. 1.

Regulovaná soustava	Regulátor				
	P	I	PI	PD	PID
statická bezkapacitní	není stabilní	vhodný	nákladný	nákladný	nákladný
statická jednodukapacitní	vhodný	použitelný	nákladný	nákladný	nákladný
statická dvoukapacitní	vhodný	použitelný s omezením	vhodný	vhodný	vhodný
statická s dopravním zpožděním	není stabilní	použitelný s omezením	použitelný s omezením	vhodný	vhodný
astatická jednodukapacitní	vhodný	není stabilní	vhodný za předpokladu, že nelze použít regulátor P		
astatická dvoukapacitní	použitelný s omezením	není stabilní	vhodný za předpokladu, že nelze použít regulátor P		

Tab. 1: Volba typu regulátoru podle vlastností regulované soustavy

Volbu typu regulátoru ovlivňuje i druh regulované veličiny, kterou má volený regulátor regulovat. To je zřejmé z tab. 2.

### 5.4. Optimální seřízení (nastavení) regulátoru

Seřízení regulátoru spočívá ve vhodném nastavení jeho konstant (charakteristických veličin)  $p_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  tak, aby získaný regulační pochod probíhal co nejpříznivěji. V praxi se můžeme setkat s

různými metodami nastavení těchto konstant. V zásadě je můžeme rozdělit do dvou skupin, podle toho, zda pro nastavení konstant využíváme získané zkušenosti nebo zda konstanty regulátoru stanovíme na základě výpočtu.

Regulovaná soustava	Regulátor				
	P	I	PI	PD	PID
tlak	použitelný	vhodný	vhodný pro větší nároky	nehodný	nehodný
teplota	vhodný	nehodný	vhodný pro větší nároky	vhodný pro větší nároky	vhodný pro větší nároky
průtok	nehodný	vhodný	nehodný	nehodný	nehodný
výška hladiny	vhodný	nehodný	vhodný pro větší nároky	nehodný	nehodný
otáčky	vhodný	vhodný	vhodný pro větší nároky	vhodný pro větší nároky	vhodný pro větší nároky

Tab. 2: Volba typu regulátoru podle druhu regulované veličiny

**Nastavení konstant regulátoru na základě zkušenosti**

Tato metoda vychází ze zkušeností získaných při seřizování regulátorů v regulačních obvodech podobných obvodu, jehož regulátor má být seřizen. Pro seřizování pomocí této metody můžeme ve většině běžných případů využít doporučené hodnoty, které jsou uvedeny v tab. 3.

**Nastavení konstant regulátoru na základě výpočtu**

V praxi existuje několik metod, kterými lze na základě jednoduchého výpočtu stanovit konstanty regulátoru. Tyto metody lze v podstatě rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří metody vycházející z předpokladu, že charakteristické veličiny regulované soustavy jsou nám známy. Druhou skupinu tvoří metody vycházející z předpokladu, že charakteristické veličiny regulované soustavy neznáme.

Regulovaná veličina	pp (%)	T <sub>i</sub> (min)	T <sub>d</sub> (min)
tlak	20 až 150	0,1 až 3	0,01 až 0,1
teplota	5 až 50	1 až 20	0,1 až 3
průtok	20 až 150	0,1 až 1	0,01 až 0,1
výška hladiny	80 až 170	0,5 až 6	0,01 až 0,1

Tab. 3. Doporučené konstanty regulátoru získané na základě zkušenosti

Typ regulátoru	Regulační pochod			
	aperiodický s nejkratší dobou regulace		periodický s přeregulováním 20 %	
	změna zatížení	změna nastavené hodnoty	změna zatížení	změna nastavené hodnoty
P	$pp = 330 \frac{T_u}{T_n}$	$pp = 330 \frac{T_u}{T_n}$	$pp = 140 \frac{T_u}{T_n}$	$pp = 140 \frac{T_u}{T_n}$
Pi	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 4,0 T_u$	$pp = 290 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1,2 T_u$	$pp = 140 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 2,3 T_u$	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1,0 T_u$
PD	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0,25 T_u$	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0,29 T_u$	$pp = 83 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0,25 T_u$	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_d = 0,27 T_u$
PID	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 2,2 T_u$ $T_d = 0,42 T_u$	$pp = 170 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1,0 T_u$ $T_d = 0,5 T_u$	$pp = 83 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 2,0 T_u$ $T_d = 0,42 T_u$	$pp = 105 \frac{T_u}{T_n}$ $T_i = 1,35 T_u$ $T_d = 0,47 T_u$

Poznámka: Tabulka platí při  $T_u/T_n < 1$ ; je-li soustava astatická, platí  $T_n = 1$ .

Tab. 4: Výpočet konstant pro nastavení reg. podle charakteristických veličin soustavy

**Řešení**

Pro regulaci této soustavy zvolíme regulátor PID a pomocí tab. 4 vypočítáme konstanty pro jeho nastavení za předpokladu, že požadujeme aperiodický regulační pochod. Platí

$$pp = 105 \frac{T_u}{T_n} = 105 \frac{30}{200} \cong 15,75\%$$

$$T_i = 2,2 T_u = 2,2 \cdot 30 = 1,1 \text{ min}$$

$$T_d = 0,42 T_u = 0,42 \cdot 30 = 0,21 \text{ min}$$

Vypočtené konstanty nastavíme na regulátoru.

Tato metoda dává v praxi velmi dobré výsledky. Navíc můžeme zvolit, zda regulační pochod má mít průběh periodický nebo aperiodický. Metoda respektuje způsob vyvolání regulačního pochodu (zda byl vyvolán změnou zatížení nebo změnou žádané - nastavené - hodnoty regulované veličiny). Jedinou její nevýhodou je skutečnost, že pro její aplikaci nezbytně musíme znát charakteristické veličiny regulované soustavy. Většinou tyto veličiny neumíme přesně vypočítat, a proto je zjišťujeme měřeními na soustavě v provozu.

Jestliže nelze charakteristické veličiny regulované soustavy získat, používají se pro nastavení konstant regulátoru jiné metody, např. Zieglerova-Nicholsova metoda. Tato metoda vychází ze dvou veličin, a; to z kritického pásma proporcionality ( $pp_{kr}$ ) a z kritické periody kmitů ( $T_{kr}$ ).

Nejprve uvedeme metodu používanou za předpokladu, že charakteristické veličiny regulované soustavy známe. Konstanty pro nastavení regulátoru se potom vypočítají pomocí vztahů uvedených v tab. 4.

**Příklad 1**

Na zařízení pro ohřev vzduchu byla změněna doba průtahu  $T_u = 30$  s a doba náběhu  $T_n = 200$  s. Žádaná teplota je 250 °C, maximální teplota při plném topném výkonu je 400 °C. Z provozních důvodů je třeba udržovat teplotu co nejpřesněji.

Zjistíme je tímto postupem:

1. Konstanty sdruženého regulátoru nastavíme tak, aby regulátor pracoval jako pro-porcionální ( $T_i = \infty, T_d = 0$ ).
2. Na regulátoru nastavíme libovolné pásmo proporcionality.
3. V regulačním obvodu vyvoláme regulační po-chod (nejlépe nepatrnou změnou žádané hodnoty) a prostřednictvím měřícího přístroje sledujeme jeho průběh.
4. Nenastane-li regulační pochod na hranici stability, změníme (zpravidla zúžíme) pásmo proporcionality a v regulačním obvodu znovu vyvoláme regulační pochod.
5. Tento postup opakujeme tak dlouho, až získáme regulační pochod na hranici stability. Pásmo proporcionality, při kterém tento pochod nastal, je kritické pásmo proporcionality a jeho perioda je kritická perioda.
6. Konstanty pro nastavení regulátoru vypočítáme pomocí tab. 5.

Regulátor	pp (%)	$T_i$ (min)	$T_d$ (min)
P	$pp = 2,0 pp_{kr}$	—	—
PI	$pp = 2,2 pp_{kr}$	$T_i = 0,85 T_k$	—
PD	$pp = 1,6 pp_{kr}$	—	$T_d = 0,12 T_k$
PID	$pp = 1,7 pp_{kr}$	$T_i = 0,50 T_k$	$T_d = 0,12 T_k$

Tab. 5. Výpočet konstanty pro nastavení regulátoru Zieglerovy-Nicholsovy metody

### Příklad 2

Určete konstanty regulátoru PID, jestliže měřením na regulačním obvodu bylo zjištěno:  $pp_{kr} = 30 \%$ ,  $T_{kr} = 1$  min.

### Řešení

$$pp = 1,7 pp_{kr} = 51 \%$$

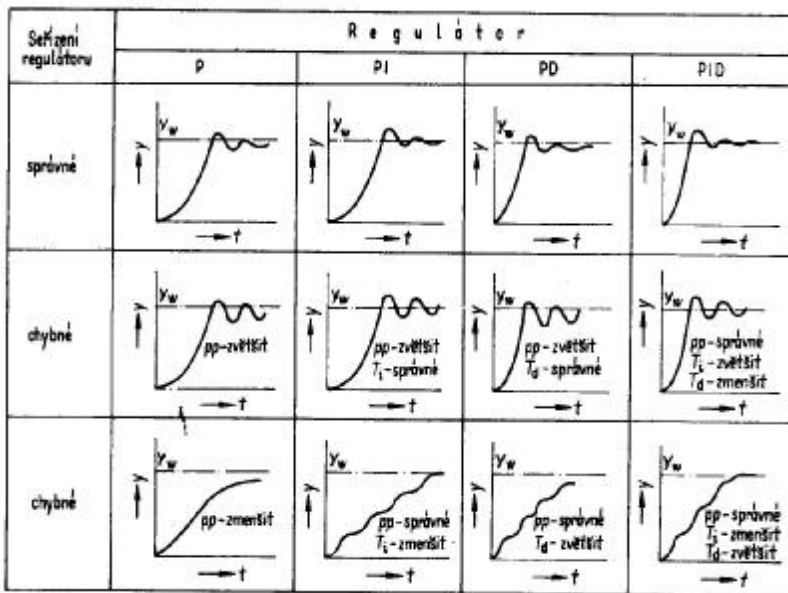
$$T_i = 0,50 T_{kr} = 0,5 \text{ min}$$

$$T_d = 0,12 T_{kr} = 0,12 \text{ min}$$

Vypočtené konstanty nastavíme na regulátoru.

### Zkušenosti při seřizování regulátoru

Seřizování regulátoru podle uvedených metod dává ve většině případů dobré výsledky. Přesto se v některých případech získaný regulační pochod liší od optimálního regulačního pochodu, a proto je třeba nastavení konstant regulátoru dodatečně opravit. K tomu můžeme využít obr. 57 na němž jsou uvedeny regulační pochody při správném a při chybném seřizování regulátoru.



Obr. 57: Přehled regulačních pochodů při správném seřizování regulátoru a při chybném seřizování regulátoru

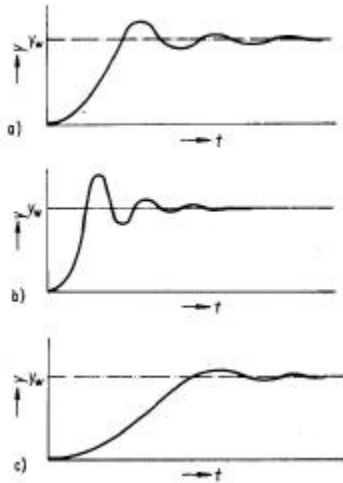
Závěrem lze říci, že při průměrném regulačním pochodu má regulovaná veličina po dosažení žádané hodnoty ještě dvakrát až čtyřikrát překývnout a pak se ustálit (obr. 58a). Chceme-li však dosáhnout rychlé regulace a není-li na závadu častější krátké zakmitání, nastavíme dvakrát kratší integraci. V tom případě bývá obvykle  $T_d = 0$  (obr. 58). Naopak chceme-li zvláště klidný regulační pochod

(vhodný pro regulaci teploty nebo výšky hladiny), zvětšíme  $pp$  a  $T_d$  o polovinu (obr. 58c).



**7.9.5. Základní pojmy uvedené v článku 7.9.**

Pojem	Označení	Definice
Stabilní regulační pochod		Pochod, při kterém regulovaná veličina dosáhne v konečném čase prakticky ustáleného stavu, jsou-li vstupní veličiny v ustáleném stavu.
Nestabilní regulační pochod		Pochod, který nevyhovuje podmínkám uvedeným v definici stabilního regulačního pochodu.
Doba regulace	T	Doba, po které se odchylka regulované veličiny po daném vzruchu trvale zmenší pod necitlivost regulátoru nebo pod jinou stanovenou hodnotu.



**Obr. 58:** Regulační pochody  
 a) optimální, b) rychlý  
 c) klidný