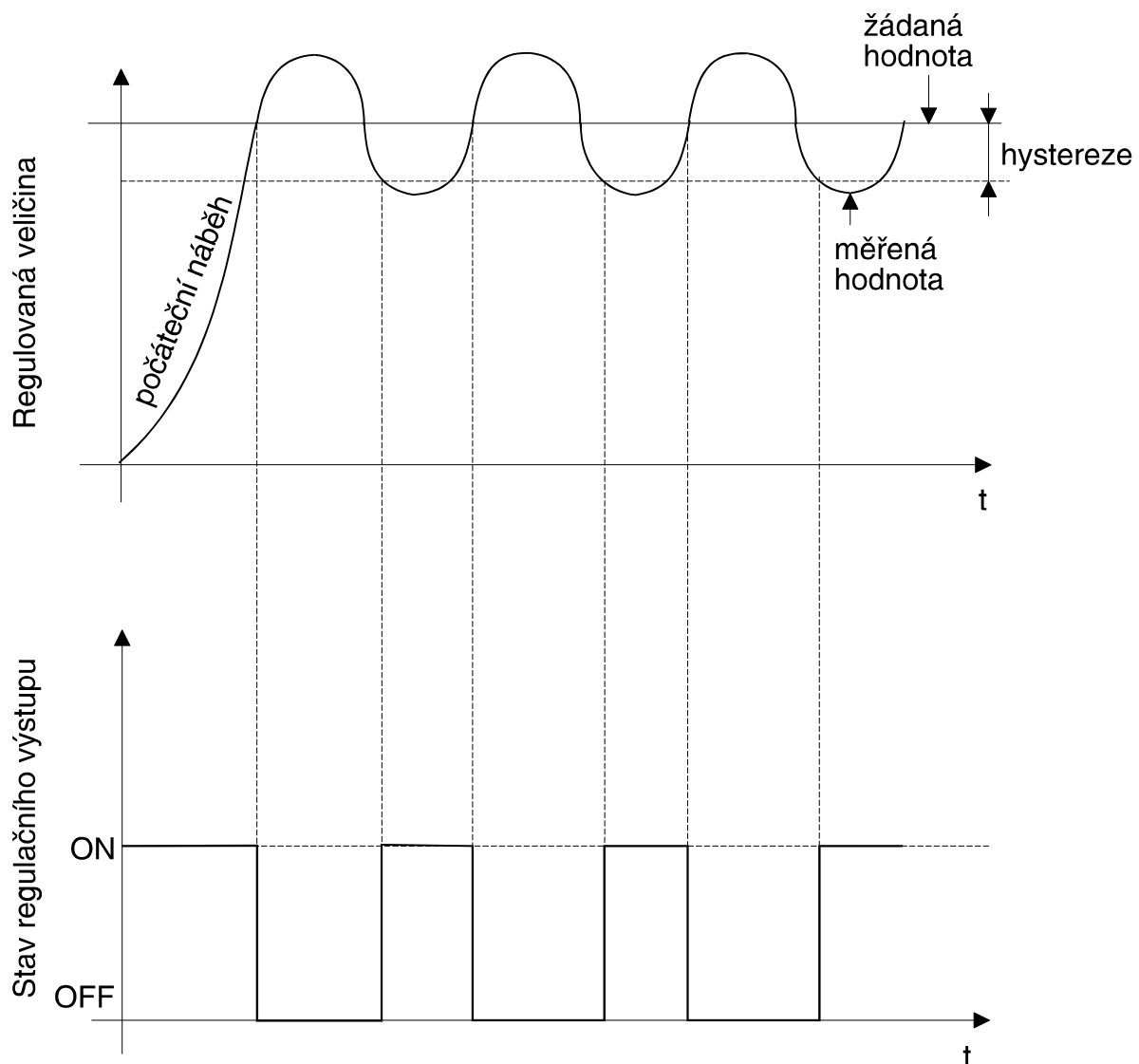


Regulace

Dvoustavová regulace

Využívá se pro méně náročné aplikace. Z principu není možné dosáhnout nenulové regulační odchylky. Měřená hodnota charakteristickým způsobem kmitá kolem žádané hodnoty. Regulační odchylku lze snížit zmenšením hystereze. To se však projeví častějším spínáním výkonových členů, které má nepříznivý vliv na životnost elektromechanických spínačů (relé, stykače, apod.)



Obr. 1.1. Dvoustavová regulace

Výhody dvoustavové regulace :

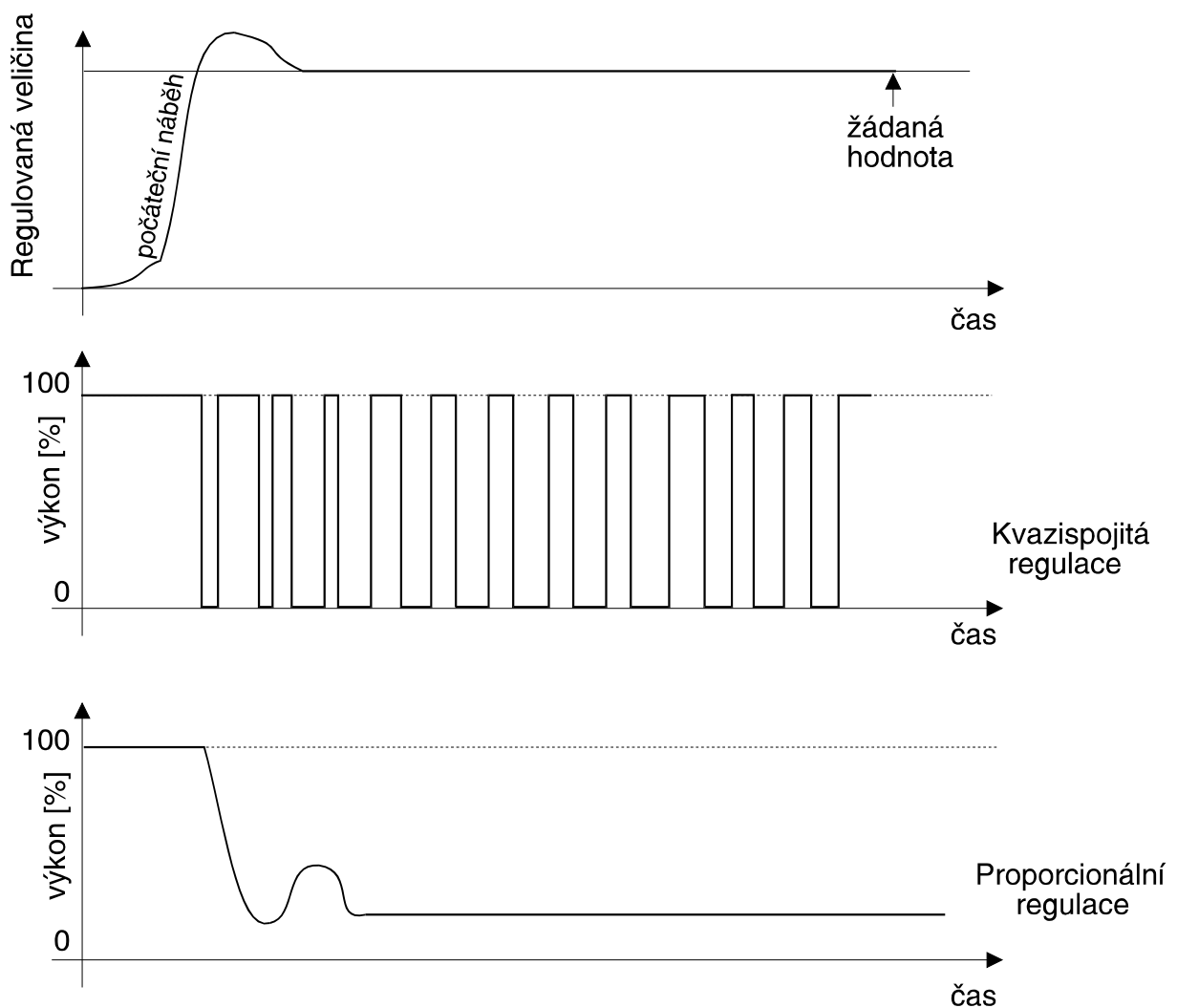
- nižší nároky na životnost výkonových spínačů, v mnoha případech vyhovuje mechanické relé
- malé nároky na regulátor
- jednoduchá obsluha

Nevýhody dvoustavové regulace :

- nízká jakost regulace

PID regulace

Umožňuje mnohem přesnější řízení procesu než dvoustavová regulace. U topených soustav lze (podle charakteristiky regulované soustavy) dosáhnout regulační odchylky menší než 1 °C. Podle charakteru výkonového spínače je výstupní hodnota plně proporcionální nebo kvaziproporcionální.



Obr. 1.2. PID regulace

Precizní regulace lze dosáhnout pouze tehdy, je-li přístroj správně nastaven podle charakteristik regulované soustavy. Jedná se o tzv. PID parametry:

- **Pb (PROPORTIONAL BAND)**
Šířka pásma proporcionality, vyjádřená v měřených jednotkách (°C). Je-li $Pb=0$, pak regulátor pracuje jako dvoustavový (ON/OFF).
- **It (INTEGRAL)**
Integrační parametr. Eliminuje ztráty regulované soustavy. Je vyjádřen v minutách.
- **dE (DERIVATIVE)**
Derivační parametr. Uplatňuje se při rychlých změnách žádané nebo skutečné hodnoty. Je vyjádřen v minutách.

Dalším důležitým parametrem, který má vliv na jakost regulace, je čas regulačního cyklu („Ct“). U kvaziproporcionálního výstupu udává dobu trvání jednoho regulačního cyklu, tj. minimální dobu, během které je možno jednou zavřít a znovu otevřít regulační výstup. Při jeho nastavování je nutno vzít do úvahy, že krátký čas regulačního cyklu zvyšuje jakost regulace, zejména u rychlých soustav. Naproti tomu časté spínání zkracuje životnost mechanických spínačů (relé, stykač, apod.). Typická životnost mechanického relé je cca 100 000 cyklů při plné zátěži.

Výhody PID regulace :

- vysoká jakost regulace, zejména u soustav s proporcionálním výstupem

Nevýhody PID regulace :

- velké nároky na regulátor
- vyšší nároky na spínače (nedoporučují se elektromechanické)
- zdlouhavé manuální nastavování regulačních parametrů

Spojité regulátory

Úkolem každého regulátoru je zpracovat regulační odchylku na akční veličinu. Podle způsobu zpracování dělíme regulátory na proporcionální, proporcionálně integrační, proporcionálně derivační a proporcionálně- integračně derivační, zkratkami P, PI, PD, PID.

Proporcionální regulátory :

Jsou to nejjednodušší regulátory, pracují jako zesilovač regulační odchylky, tedy

$$y = -r_o \cdot x_w$$

znaménko minus souvisí se zavedením regulační odchylky $x_w = x - x_s$. Zesílení regulátoru r_o se velmi často udává pomocí pásma proporcionality $P = (1 / r_o) \cdot 100\%$. Význam termínu spočívá v tom, že udává rozsah, mezi jehož krajními mezemi se

musí změnit regulovaná veličina, aby regulátor přestavil z jedné krajní polohy do druhé.

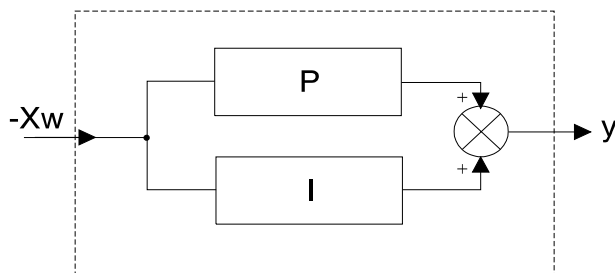
K tomu, aby se v regulačním obvodu udržovala regulovaná veličina na žádané hodnotě x_s , musí být na vstupu regulátoru regulační odchylka :

$$x_{s\infty} = -x_s \cdot \frac{1}{1 + \frac{r_0}{s_0}}$$

kde $1/s_0$ je zesílení regulované soustavy. Říkáme, že regulační obvod pracuje s trvalou regulační odchylkou, pokud je soustava statická. V případě astatických soustav může být pro udržení regulované veličiny na žádané hodnotě nulová akční veličina, tedy proporcionální regulátor ve spojení s astatickou regulovanou soustavou pracuje bez trvalé regulační odchylky.

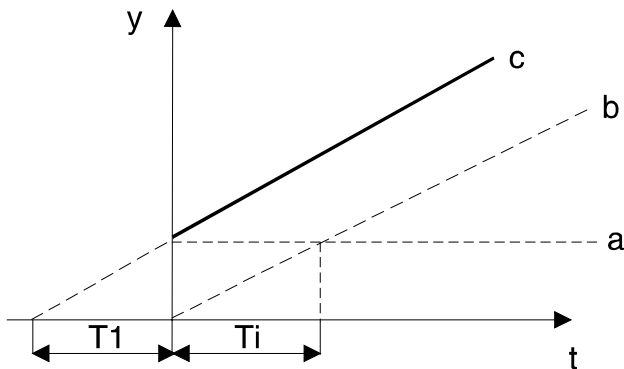
Proporcionálně integrační regulátory :

Odstranění trvalé regulační odchylky a zvětšení přesnosti regulace dosáhneme doplněním P regulátoru astatickým členem, jehož výstupní signál se trvale mění s rychlostí úměrnou vstupnímu signálu, to zn. integračním členem.



Obr.1.3. Blokové schéma PI regulátoru

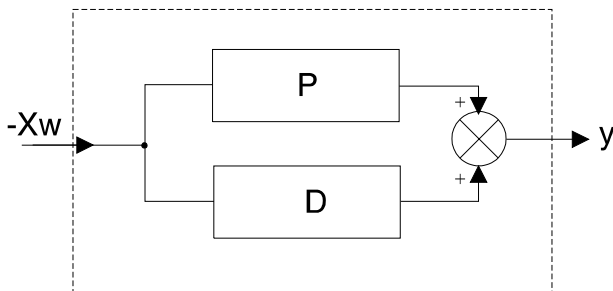
Dynamické vlastnosti PI regulátoru jsou zřejmé z obr. 1.3. Výsledná přechodová charakteristika PI regulátoru vznikne součtem složek od P a I členů. K vyjádření velikosti integrační složky používáme integrační časovou konstantu, definovanou jako dobu, po které po připojení vzruchu ve tvaru skoku na vstup regulátoru dosáhne integrační složka stejné hodnoty jako složka proporcionální. Na obr. 2 ji udává průsečík přechodových charakteristik proporcionální a integrační složky, stejný časový úsek vytne také přechodová charakteristika PI regulátoru při jejím prodloužení na časové ose.



Obr. 1.4. Přečtová charakteristika PI regulátoru
 a) přečtová charakteristika P regulátoru
 b) přečtová charakteristika integrační členu
 c) přečtová charakteristika PI regulátoru

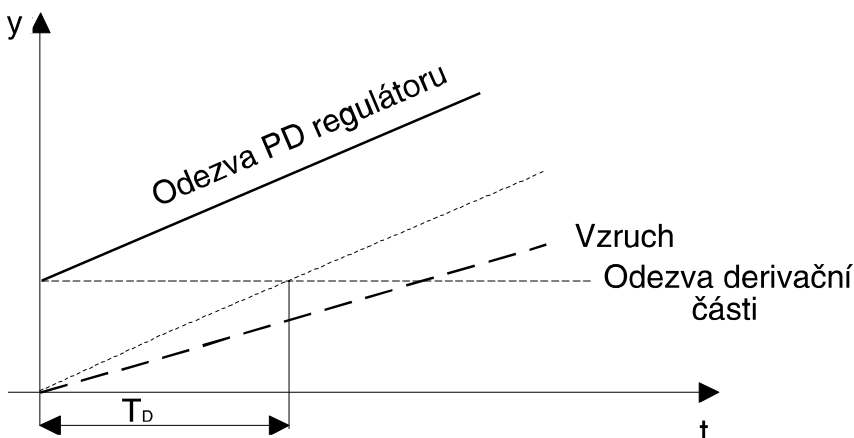
Proporcionálně - derivační regulátory :

Ke zlepšení dynamických vlastností regulačních obvodů doplňujeme proporcionální regulátor členem, jehož výstupní signál je úměrný rychlosti změny vstupního signálu, říkáme mu derivační. Pro názorné vyjádření jeho dynamických vlastností není vhodné používat přečtovou charakteristiku, protože skokový vzruch má rychlost změny v okamžiku skoku nekonečně velkou a mimo tento okamžik nulovou. Proto pro vyšetřování dynamických vlastností PD regulátorů používáme vzruch ve tvaru rovnoměrně narůstajícího signálu.



Obr. 1.5. Blokové schéma PD regulátoru

Pro kvalitní vyjádření derivační složky nám slouží derivační časová konstanta T_D rovnající se době, za kterou dosáhne proporcionální složka po připojení rovnoměrně od nuly rostoucího signálu na vstup velikosti derivační složky regulátoru.



Obr. 1.6. Odezva regulátoru na rovnoměrně narůstající vzruch

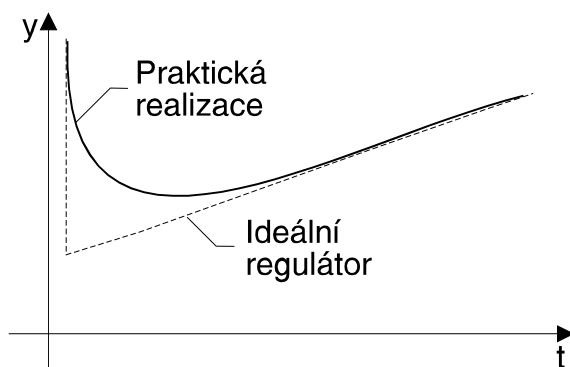
Proporcionálně integračně-derivační regulátory :

Odstranění trvalé regulační odchylky a přitom dobré dynamické vlastnosti regulačního obvodu získáme použitím všech tří složek P, I, D. Velikost každé složky lze samostatně nastavovat, to znamená P-pásmo proporcionality, I-integrační časovou konstantu a D-derivační časovou konstantu. Pro kvantitativní vyjádření platí:

a) zvětšení proporcionalní složky dosáhneme zvětšením zesílení nebo zúžením pásma proporcionality

b) zvětšení integrační složky dosáhneme zmenšením integrační časové konstanty

c) zvětšení derivační složky dosáhneme zmenšením derivační časové konstanty. Zvýšením derivační složky zlepšíme stabilitu regulačního obvodu, kdežto integrační složka nám stabilitu zhoršuje.



Obr. 1.7. Přechodová charakteristika PID regulátoru

Na obr. 1.7. je patrné zkreslení přechodové charakteristiky praktickou realizací derivačního kanálu.

Kromě popsaných PID regulátorů, u kterých je možno nezávisle nastavovat každou složku - říkáme jim bezinterakční - se používají i regulátory s interakcí, u kterých přestavování jedné složky má vliv na ostatní složky a nezávislost je obvykle splněna jen pro určitý poměr derivační a integrační časové konstanty.

Optimální nastavení regulátorů :

Pro určení, jaký regulační pochod budeme považovat za nejpříznivější - optimální - je celá řada hledisek z velké části vycházející z technologických a provozních požadavků.

Mezi nejčastěji používané patří :

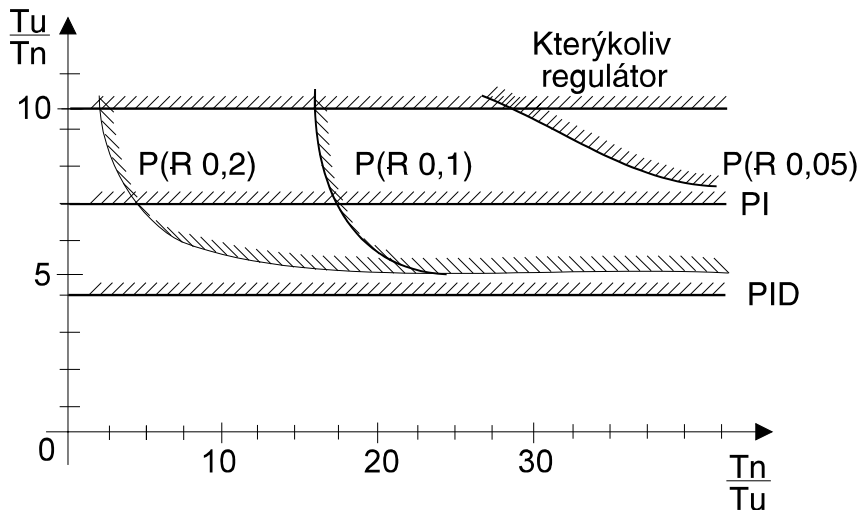
1) Požadavek stability, který je vlastně základní a podmiňující realizaci regulačního okruhu.

2) Velikost regulační odchylky v ustáleném stavu.

3) Doba trvání přechodového regulačního pochodu při vstupu poruchy, říkáme ji doba regulace TR.

4) Velikost překmitu během doby regulace.

5) Počet překmitů během doby regulace.



Obr. 1.8. Diagram pro určení regulátoru
 T_n doba náběhu soustavy
 T_u doba průtahu soustavy
 T_r požadovaná doba regulace do praktického ustálení

$$R = \frac{1}{1 + \frac{r_o}{s_o}} \dots \dots \dots \text{činitel regulátoru}$$

$$\frac{1}{s_o} = Z \dots \dots \text{zesílení soustavy}$$

Z diagramu plyne, že :

1) Nelze dosáhnout kratší doby regulace než $4 T_u$

2) Chceme-li dosáhnout kratší doby regulace než $6 T_u$, musíme použít PID regulátor, nebo P, avšak potom se musíme smířit s velkou regulační odchylkou v ustáleném stavu.

3) Dobu regulace delší než $10 T_u$ je možno dosáhnout bez potíží kterýmkoliv regulátorem.

Pro splnění kritérií byla vypracována a ověřena řada metod, z nichž nejčastěji užívané jsou metoda kritického stavu a výpočet podle vlastnosti regulované soustavy.

Metoda kritického stavu :

Je to experimentálně zaměřený postup, při kterém nemusíme znát předem vlastnosti soustavy:

a) vyřadíme derivační složku ($TD=0$) a integrační složku ($Ti=\infty$)

b) postupně zvyšujeme zesílení regulátoru, až právě nastanou poprvé netlumené kmity regulované veličiny. Zesílení nazýváme kritické a označujeme $rokr$, dobu kmitu Tkr .

Doporučené nastavení regulátoru je pak :

P regulátor $ro = 0,5 \cdot rokr$
PD regulátor $TD = 0,12 \cdot Tkr$ zesílení dostavíme
zkusmo
PI regulátor $ro = 0,45 \cdot rokr$, $Ti = 0,85 \cdot Tkr$
PID regulátor $ro = 0,6 \cdot rokr$, $Ti = 0,5 \cdot Tkr$, $TD = 0,12 \cdot Tkr$

Metoda výpočtová :

Vychází ze znalostí dynamických a statických vlastností regulované soustavy, to znamená Tu , Tn , $1/So$, případně u astatických soustav Tu a $1/Cs$ (převrácená hodnota rychlosti změny $1/Cs$ nahrazuje součin So, Tn).

Doporučené nastavení regulátoru :

P regulátor $ro = \frac{Tn \cdot So}{Tu}$
PI regulátor $ro = 0,8 \cdot \frac{Tn \cdot So}{Tu}$, $Ti = 3 \cdot Tu$
PD regulátor $ro = 1,2 \cdot \frac{Tn \cdot So}{Tu}$, $TD = 0,25 Tu$
PID regulátor $ro = 1,2 \cdot \frac{Tn \cdot So}{Tu}$, $Ti = 2 Tu$, $TD = 0,42 Tu$

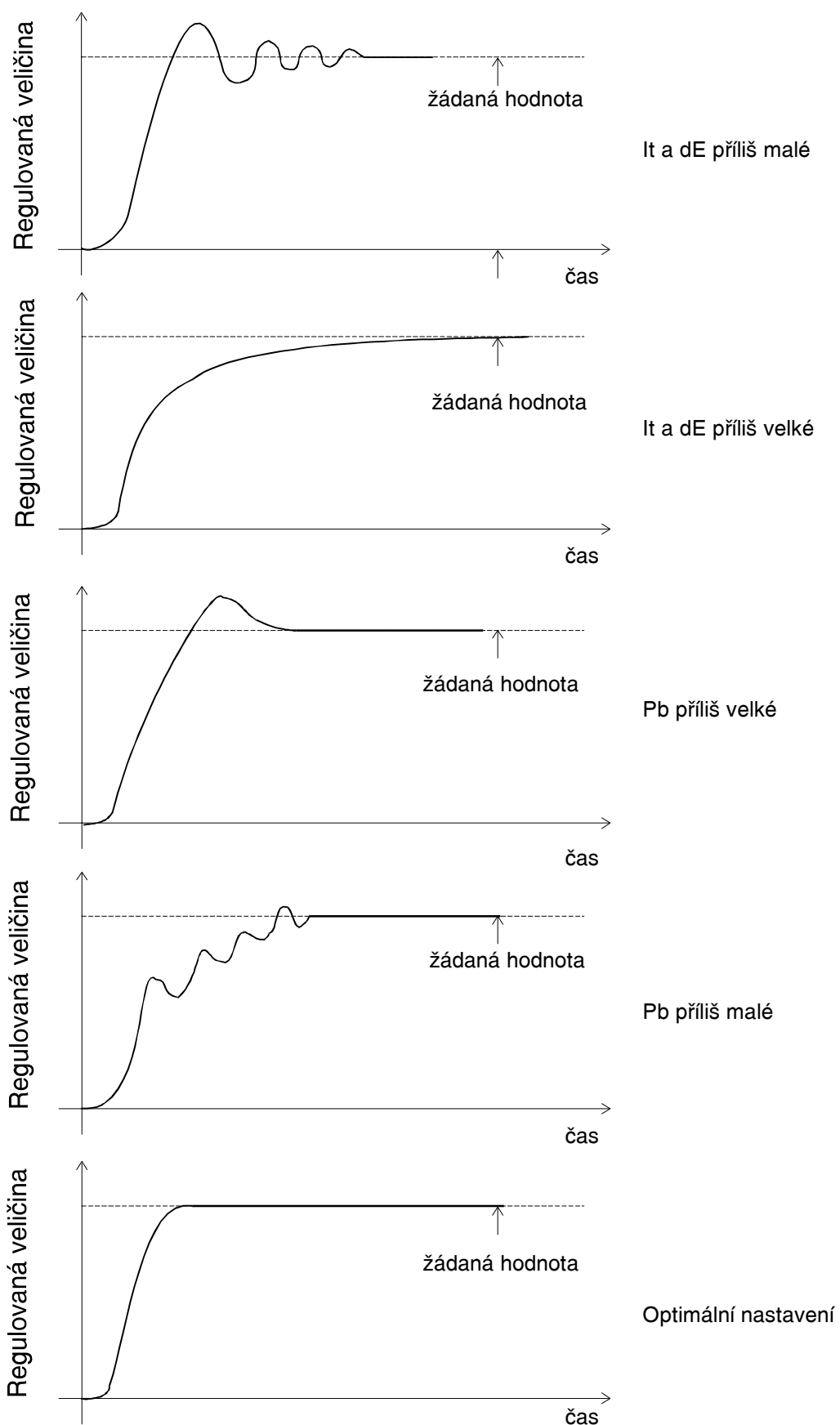
Uvedené vztahy jsou přibližné a podle individuálních požadavků lze parametry regulátoru zkusmo dostavit, přitom :

- 1) zvyšování zesílení snižuje regulační odchylku v ustáleném stavu, zkracuje dobu regulace (pokud nedojde k zakmitání), avšak zhoršuje stabilitu regulačního obvodu.
- 2) zvyšování integrační složky (snižování integrační časové konstanty) zkracuje dobu regulace, opět však zhoršuje stabilitu.
- 3) Zvyšování derivační složky tlumí regulační pochod, při zakmitání tedy zkrátí dobu regulace, zlepšuje se stabilita regulačního obvodu.

Velmi často jsou regulované soustavy a akční členy nelineární, proto je nutno stabilitu případné optimální nastavení ověřit nejen v provozním rovnovážném stavu, ale i v dalších možných podmínkách.

Optimalizace regulačních parametrů

Po automatickém nastavení PID parametrů může obsluha podle chování regulované soustavy jemně doladit regulační parametry tak, aby regulace odpovídala individuálním požadavkům procesu. Několik obrázků naznačuje typické chování některých soustav. Mohou být určitým vodítkem při optimalizaci, ale důležitější je znalost a zkušenost obsluhy



Obr. 1.9. Příklady chování regulačních soustav při počátečním náběhu na žádanou hodnotu

Seřízení nespojitých regulátorů :

Pro nastavení přibližně spojitě pracujících nespojitých regulátorů je možno využít výsledků předchozího odstavce, specifičnost nastavovacích prvků vyžaduje však někdy odlišný přístup.

a) Dvoupolohové regulátory se zpožďující zpětnou vazbou mají nejčastěji plynule měnitelnou vlivnost zpětné vazby, časová konstanta bývá pevná nebo představitelná skokově. Pokud je časová konstanta pevná, nastavíme vlivnost zpětné vazby zkusmo jako kompromis mezi požadavkem na kolísání regulované veličiny a životností výkonových spínacích prvků. Známe-li vlastnosti soustavy, můžeme vlivnost určit :

$$V_o = \frac{H \cdot T_D}{\Delta x \cdot T_n} X_{\max}$$

U vazeb s měnitelnou i časovou konstantou potřebujeme znát přibližně dobu průtahu T_u soustavy a pak volíme přibližně $T_D = 0,5 T_u$. Nastavení vlivnosti již bylo uvedeno výše.

b) Dvoupolohové regulátory s pružnou zpožďující zpětnou vazbou lze nastavovat zkusmo jen obtížně, je nutno znát T_u , T_n , X_{\max} regulované soustavy.

Dobře vyhovující nastavení je pak :

$$V_o = 2 \frac{T_u}{T_n} X_{\max}$$

$T_1 = T_2 = T_u$, kde T_1 a T_2 jsou časové konstanty, které se neshodují s T_i a T_D

c) Nespojité regulátory se servopohonem budeme seřizovat podobně jako spojité, to znamená :

krokové
$$V_o = 2 \cdot \frac{T_D}{T_M} \cdot \frac{T_u}{T_n} X_{\max}$$

s pevnou vazbou
$$V_o = 2 \cdot \frac{T_u}{T_n} X_{\max}$$
 nebo

$$V_o = \frac{T_u}{T_n} X_{\max}$$

při symetrickém zpětnovazebním signálu

d) Nespojité regulátory ZEPAFOT 03, 04 a ZEPARIS 34, 40 mají zvláštní úpravu zavádění zpětnovazebního signálu, která současně ovlivňuje hysterezi regulátoru. Četnost spínání regulátoru a tím i kolísání regulované veličiny je prakticky nezávislé na nastavené vlivnosti zpětné vazby (při $x_s = 0,5 x_{\max}$ je součet doby zapnutí a vypnutí asi 40 vteřin). Vlivnost zpětné vazby proto nastavujeme podle dynamických požadavků na regulační obvod.

$$V_o = X_{\max} \frac{T_u}{T_n}$$