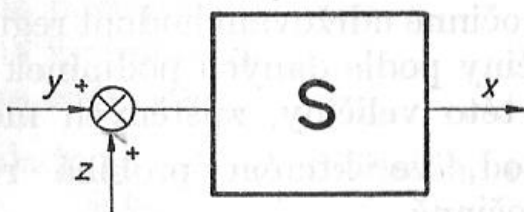


INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

<i>Předmět:</i>	<i>Ročník:</i>	<i>Vytvořil:</i>	<i>Datum:</i>
AUTOMATIZACE	DRUHÝ	ZDENĚK KOVAL	27. 3. 2013
<i>Název zpracovaného celku:</i>			
Aut 2- regulační technika (2/3) + prvky regulačních soustav (1/2)			

5.5 REGULOVANÉ SOUSTAVY

Regulovaná soustava je zařízení, na kterém se provádí regulace. Abychom mohli zvolit vhodný regulátor, musíme znát dynamické vlastnosti soustavy. Ty získáme nejlépe z přechodové charakteristiky soustavy. Při jejím vyšetřování je třeba si uvědomit, že výstupní veličinou ze soustavy je regulovaná veličina (x) a vstupními veličinami jsou veličina akční (y) a poruchová (z). Obě vstupní veličiny mají vliv na časový průběh veličiny regulované. U poruchové veličiny je však její časový průběh neznámý a její vliv má být odstraněn automatickou regulací. Na ovlivnění časového průběhu regulované veličiny stačí jeden vstupní signál, používá se na získání odezvy regulované soustavy skokové změny akční veličiny. Provádí se to tak, že ručním řízením provedeme změnu akční veličiny a sledujeme odezvu soustavy.



Blokové schéma regulované soustavy

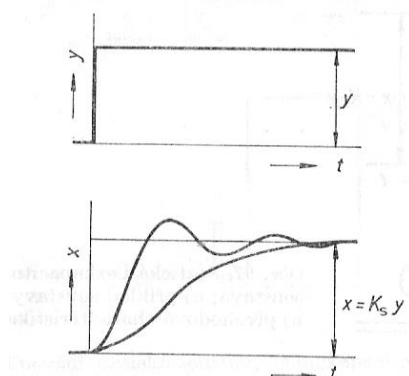
Další, důležitou vlastností soustavy je jejich schopnost hromadit látku nebo energii. Říkáme, že soustavy mají kapacitu. Nejčastěji se soustavy rozdělují podle průběhu odezvy na skokovou změnu do dvou skupin, a to do soustavy statické a astatické.

5.5.1 STATICKÉ REGULOVANÉ SOUSTAVY

U statické regulované soustavy se po skokové změně akční veličiny regulovaná soustava ustálí na nové hodnotě. Tuto vlastnost statických soustav nazýváme autoregulací. Novou hodnotu regulované veličiny, na které se ustálí ideální statická regulovaná soustava, vypočítáme ze vztahu

$$x = K_s y \quad \text{kde } K_s \text{ – je součinitel přenosu soustavy}$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Přechodová charakteristika soustav statických

Statické soustavy můžeme rozdělit podle počtu kapacit:

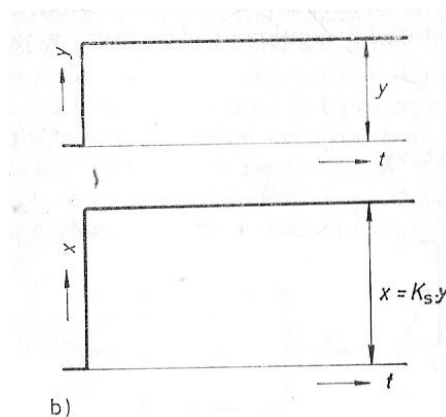
- na regulované soustavy bezkapacitní
- na regulované soustavy jednodukapacitní
- na regulované soustavy dvoukapacitní
- na regulované soustavy několikakapacitní
- na regulované soustavy s dopravním zpožděním

a) Regulované soustavy bezkapacitní

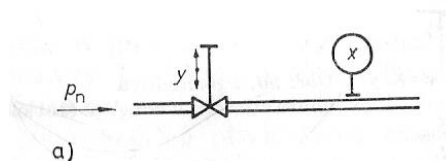
Tato soustava má zanedbatelnou kapacitu, tedy nemá schopnost hromadit energii nebo látku. Působí pouze proti průtoku energie vlastním odporem. Z toho vyplývá, že regulovaná veličina sleduje téměř bez zpoždění veličinu akční.

$$x = K_s y$$

Příkladem takové soustavy může být krátký úsek potrubí, jimiž protéká kapalina nebo jiná nestlačitelná látka. U této soustavy se tlak (nebo i průtok) mění se změnou polohy regulačního ventilu téměř bez zpoždění. Tyto regulované soustavy se vyskytují jen zřídka.



b)



a)

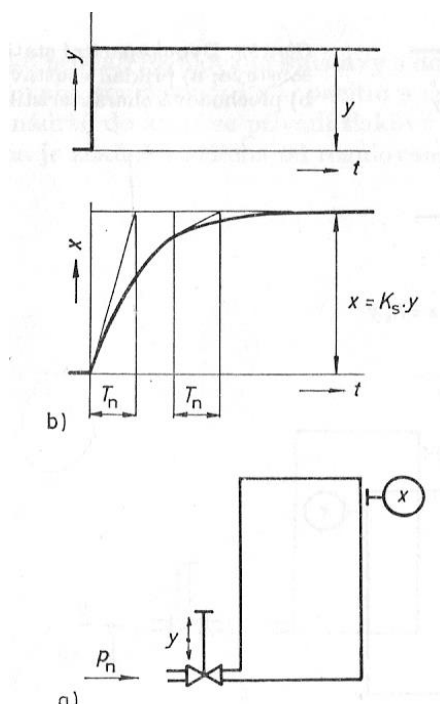
Statická bezkapacitní soustava; a) příklad soustavy, b) přechodová charakteristika

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

b) Regulované soustavy jednokapacitní

Tyto soustavy se vyznačují tím, že mají jednu kapacitu, která umožňuje hromadit energii nebo látku. Regulovaná veličina se u těchto soustav při skokové změně akční veličiny mění ihned s určitou počáteční rychlostí, úměrnou rozdílu mezi okamžitou a konečnou hodnotou regulované veličiny. Tato rychlost se stále zmenšuje, až po delším čase se regulovaná soustava ustálí na nové (konečné) hodnotě. $x = K_s y$

Doba náběhu T_n je doba, za kterou by výstupní veličina dosáhla nové rovnovážné polohy, kdyby změna probíhala největší rychlostí. (Rychlost má směr tečny ke křivce.)



Jednokapacitní statická soustava; a) příklad soustavy, b) přechodová charakteristika

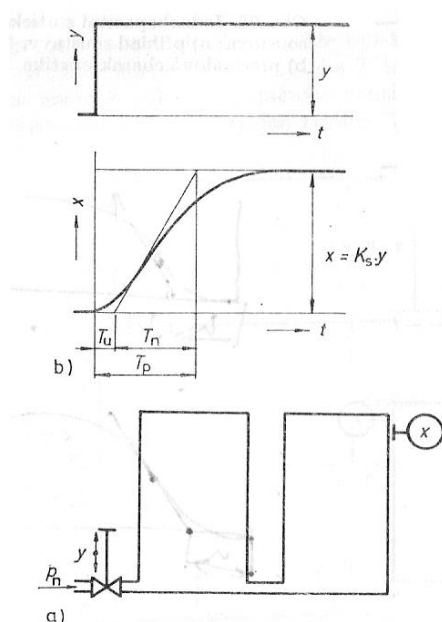
Jako příklad můžeme uvést nádrž, která se plní vzduchem přes regulační ventil.

c) Regulované soustavy dvoukapacitní

Mají dvě kapacity za sebou. Přechodová charakteristika této soustavy má mimo charakteristickou veličinu K_s ještě dvě časové konstanty a to dobu náběhu T_n a dobu průtahu T_u . Doba průtahu T_u je časový úsek mezi počátkem změny a bodem, v němž protíná přímkou počátečního rovnovážného stavu tečna charakteristiky. Součet doby průtahu a náběhu se nazývá doba přechodu T_p .

$$T_p = T_u + T_n$$

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Dvoukapacitní statická soustava; a) příklad soustavy, b) přechodová charakteristika

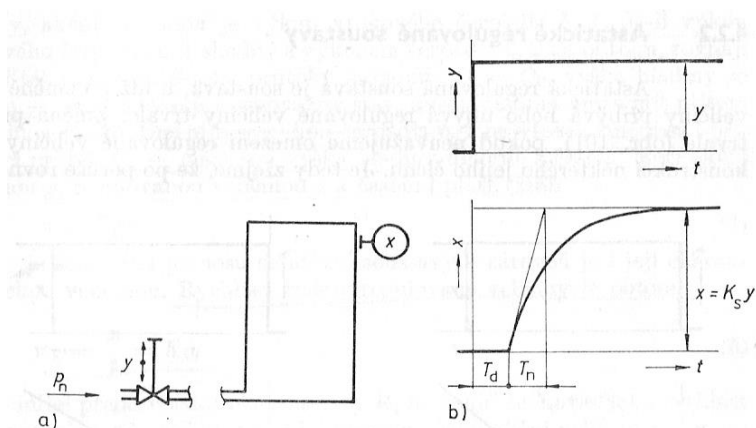
Jako příklad lze uvést sériové zapojení dvou nádrží s regulačním ventilem, plněných vzduchem. V praxi se setkáváme se soustavami tohoto typu velmi často, především u tepelných soustav.

d) Regulované soustavy několikakapacitní

Tyto soustavy vznikají sériovým zapojením členů jednodukapacitních (prvního řádu). Přechodové charakteristiky těchto soustav mají obdobný tvar jako přechodová charakteristika soustavy dvoukapacitní. Mají i stejné veličiny K_S , T_u , T_n . U těchto soustav mohou být i členy druhého řádu (setrvačnost hmotnosti, indukčnost).

f) Regulované soustavy s dopravním zpožděním

U regulované soustavy s dopravním zpožděním se po skokové změně akční veličiny změní i regulovaná veličina, ale s určitým zpožděním, které nazýváme dopravní zpoždění T_d . Dopravní zpoždění je doba, která uplyne mezi změnou akční veličiny a změnou regulované veličiny.



Jednodukapacitní soustava s dopravním zpožděním; a) příklad soustavy, b) přechodová charakteristika

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jako příklad je na obrázku regulovaná soustava jednodukapacitní s dopravním zpožděním, která je tvořena nádrží, do které se přivádí vzduch přes regulační ventil, jehož poloha je značně vzdálená od regulované soustavy.

5.5.2 ASTATICKÉ REGULOVANÉ SOUSTAVY

Jsou takové soustavy, u kterých po změně akční veličiny přibývá nebo ubývá regulované veličiny trvale. Po poruše rovnováhy nenastane samovolné ustájení na nové hodnotě, jak tomu bylo u soustav statických, ale odchylka od původního rovnovážného stavu se neustále zvětšuje. Tyto soustavy nemají autoregulaci. Z toho vyplývá, že následky vzniklé poruchou lze odstranit pouze pomocí regulátoru. Obdobně jako soustavy statické, tak i soustavy astatické můžeme rozdělit podle počtu kapacit s tou výjimkou, že neexistuje soustava astatická bezkapacitní.

Rozdělení:

a) Regulovaná soustava astatická jednodukapacitní

Nejznámějším příkladem je nádrž s nuceným přítokem a odtokem, který obstarávají čerpadla. Regulovanou veličinou je výška hladiny, akční veličinou je výkon vtokového čerpadla č. 1. Je-li výkon vtokového čerpadla č.1, shodný s výkonem čerpadla č. 2 na odtoku, rovnají se i přítékající a odtékající průtoky kapalin. $Q_1 = Q_2$, výška hladiny se nemění – na soustavě je rovnovážný stav, avšak hladina může mít při tom libovolnou výšku. Změní-li se výkon čerpadla č.1 na vtoku, změní se i přítékající průtok Q_1 – mění se i výška hladiny úměrně s časem. Mezi akční veličinou y , regulovanou veličinou x a časem t platí vztah

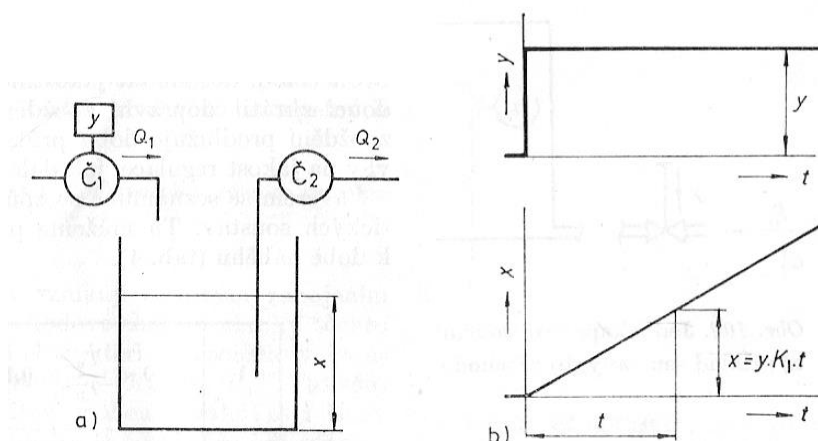
$$x = K_i y t$$

kde K_i je součinitel přenosu astatické soustavy a zároveň její charakteristickou veličinou. Rychlost, změny regulované veličiny je potom

$$v_x = \frac{x}{t} = K_i y$$

Součinitel přenosu astatické soustavy K_i můžeme definovat jako rychlost změny regulované veličiny při jednotkovém skoku akční veličiny

$$v_x = \frac{x}{t} = K_i (y = 1)$$



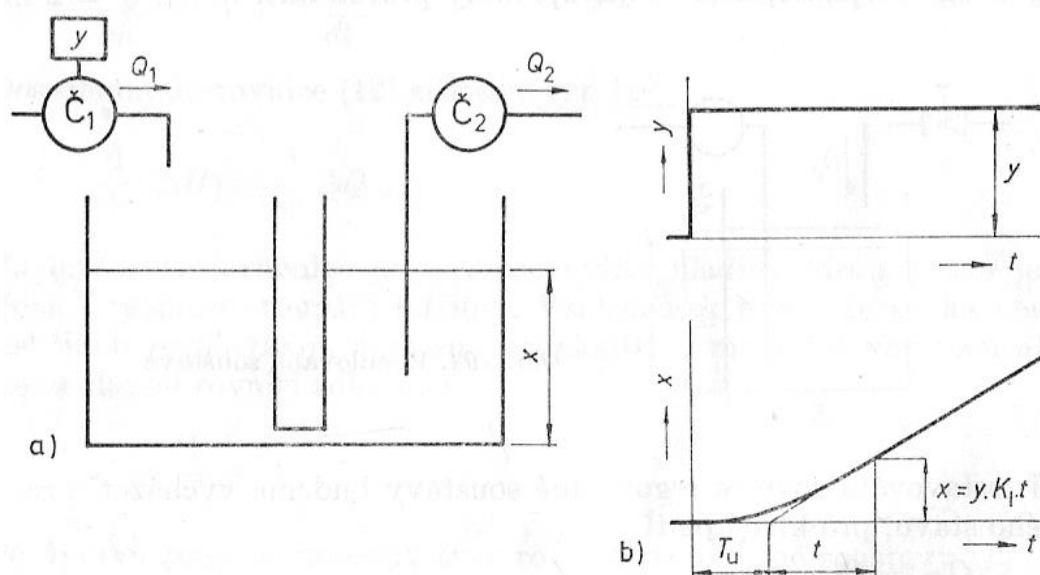
Jednodukapacitní astatická soustava; a) příklad soustavy ($Q_2 = \text{konst.}$), b) přechodová charakteristika

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

b) Regulovaná soustava astatická dvoukapacitní

Příkladem mohou být dvě nádrže zařazené za sebou s nuceným přítokem a odtokem, který obstarávají čerpadla. Charakteristickými veličinami jsou součinitel přenosu astatické soustavy K_i a doba průtahu T_u .

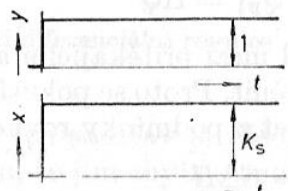
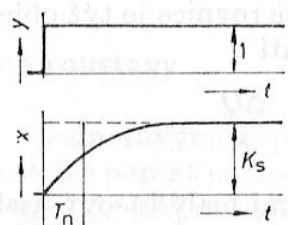
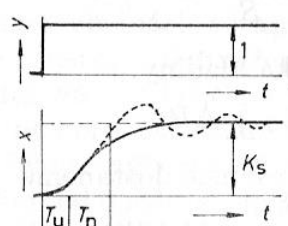
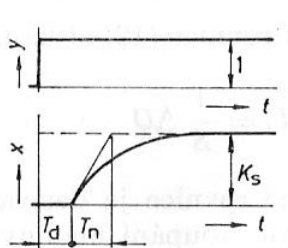
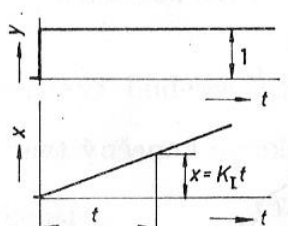
Závěrem lze říci, že regulace astatických soustav je všeobecně obtížnější než soustav statických, vzhledem k tomu, že jí chybí samoregulovatelnost. Tyto vlastnosti se ještě zhorší, má-li astatická soustava dobu průtahu nebo dopravní zpoždění.



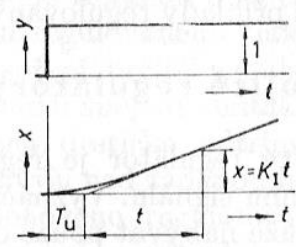
Dvoukapacitní astatická soustava; a) příklad soustavy ($Q_2 = \text{konst.}$), b) přechodová charakteristika

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Přehled regulovaných soustav

Název soustavy	Rovnice	Přechodová charakteristika	Charakt. veličiny
Statická bezkapacitní	$s_0 x = y$		K_S
Statická jednodukapacitní	$s_1 x' + s_0 x = y$		K_S, T_n
Statická dvoukapacitní	$s_2 x'' + s_1 x' + s_0 x = y$		K_S, T_n, T_u
Statická jednodukapacitní s dopravním zpožděním	$s_1 x' + s_0 x = y(t - T_d)$		K_S, T_d, T_n
Astatická jednodukapacitní	$s_1 x' = y$		K_I

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Název soustavy	Rovnice	Přechodová charakteristika	Charakt. veličiny
Astatická dvoukapacitní	$s_2 x'' + s_1 x' = y$		K_I, T_u

Kontrolní otázky a úlohy:

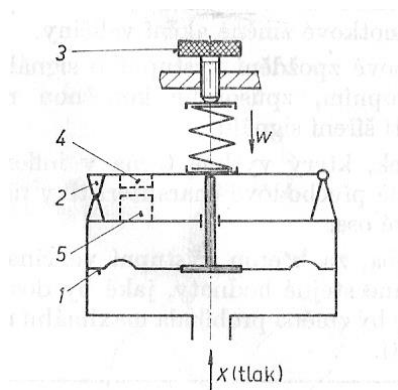
- 1) Co je regulovaná soustava?
- 2) Popiš, jak pracuje statická soustava.
- 3) Popiš, jak pracuje astatická soustava.
- 4) Vysvětli pojem – kapacita soustavy.

5.6 NESPOJITÉ REGULÁTORY

Nespojitý regulátor je regulátor, jehož výstupní signál nezávisí spojitě na vstupním signálu. Vyznačuje se tím, že akční veličina se nemění spojitě, nýbrž může nabývat pouze omezeného počtu hodnot. To znamená, že regulační orgán u nespojitých regulátorů může zaujmout dvě nebo více pevných poloh, přičemž jeho pohyb mezi pevnými polohami probíhá skokem. Nespojité regulátory patří mezi nejrozšířenější regulátory hlavně pro svoji jednoduchou konstrukci.

5.6.1 Dvoupolohový regulátor

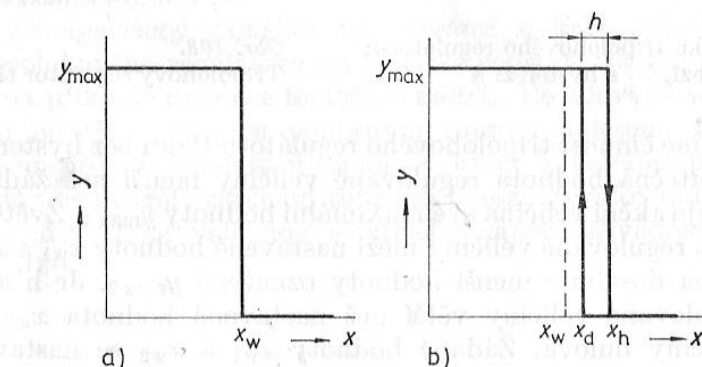
Jedná se o nejjednodušší regulátor. Při poklesu regulované veličiny pod žádanou hodnotu nabývá akční veličina určitou pevnou hodnotu a při překročení žádané hodnoty dosáhne jiné pevné hodnoty, zpravidla nulové. S činností regulátoru se seznámíme u regulátoru tlaku. Regulovaná veličina (tlak) se snímá pomocí membrány a porovnává se s veličinou žádanou, kterou si můžeme nastavit pomocí stavěcího šroubku. Je-li regulovaný tlak nižší než tlak nastavený, jsou spínací kontakty spojeny a naopak, je-li regulovaný tlak vyšší než žádaný, kontakty se rozpojí. Tímto způsobem lze regulovat tlak dodávaný kompresorem, který je prostřednictvím regulátoru střídavě zapínán a vypínán.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Dvoupolohový regulátor tlaku; 1 - membrána, 2 – kontakt, 3 – stavěcí šroubek pro nastavení žádané hodnoty, 4 – železná destička, 5 - magnet

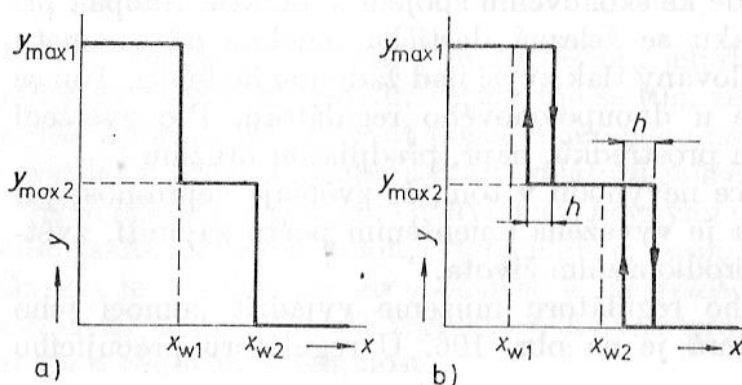
Vlastnosti dvoupolohového regulátoru můžeme vyjádřit pomocí jeho statické charakteristiky. U regulátorů pracujících s hysterezí je třeba mít na paměti, že hodnoty regulované veličiny x_d a x_h při kterých dochází k zapnutí či rozpojení kontaktů, se neshodují s žádanou hodnotou x_w . K této skutečnosti musíme přihlížet při nastavování regulátoru.



Charakteristika dvoupolohového regulátoru, a) s nulovou hysterezí, b) s hysterezí h

5.6.2 Třípolohový regulátor

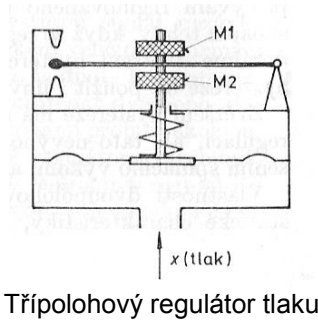
U dvoupolohového regulátoru jsou pouze dvě polohy – akční veličina má hodnotu 0% nebo 100%. Jelikož u třípolohového regulátoru můžeme mít tři pevné polohy, je tedy výhodnější. Vlastnosti můžeme vyjádřit pomocí jeho statické charakteristiky.



Charakteristika třípolohového regulátoru; a) s nulovou hysterezí, b) s hysterezí h

Popis činnosti třípolohového regulátoru tlaku bez hystereze. Je-li skutečná hodnota regulované veličiny menší než žádaná hodnota x_{w1} , dosahuje akční veličina své maximální hodnoty y_{max1} . Zvětší-li se skutečná hodnota regulované veličiny mezi x_{w1} a x_{w2} , potom akční veličina dosahuje menší hodnoty označené y_{max2} . Je-li skutečná hodnota regulované veličiny větší než nastavená hodnota x_{w2} , je hodnota akční veličiny nulová. Žádané hodnoty x_{w1} a x_{w2} se nastavují maticemi M1 a M2 na obrázku níže.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Třípolohový regulátor tlaku

Kontrolní otázky a úlohy:

- 1) Co znamená pojem hystereze u nespojitých regulátorů.
- 2) Popiš funkci nespojitěho dvupolohového regulátoru.
- 3) Popiš funkci nespojitěho třípolohového regulátoru.

5.7 SPOJITÉ REGULÁTORY

Spojité regulátory jsou regulátory, u nichž výstupní veličina je spojitou funkcí vstupní veličiny. Z toho vyplývá, že regulovaná veličina neustále ovlivňuje akční veličinu, která může nabývat libovolné hodnoty od $y = 0$ až $y = \max$.

5.7.1 Proporcionální regulátor (P)

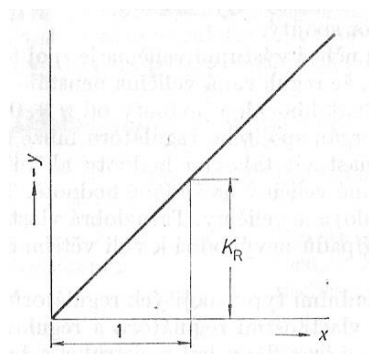
Vlastnosti regulátoru můžeme volit a tím můžeme volit i závislost výstupní veličiny na veličině vstupní. Nejjednodušší vztah mezi výstupní a vstupní veličinou je přímá úměrnost. Každé hodnotě vstupní veličiny odpovídá tedy přímo úměrná hodnota veličiny výstupní.

$$y = -K_R x \quad -K_R \text{ je součinitel přenosu regulátoru}$$

U regulátoru (na rozdíl od regulované soustavy) máme možnost součinitel přenosu měnit (můžeme jej nastavovat). Záporné znaménko v rovnici regulátoru znamená, že regulátor pracuje s inverzí. To znamená, že při kladné regulační odchylce x se akční veličina zmenší o y a naopak.

a) Statická charakteristika

Regulátor reguluje tím citlivěji a přesněji, čím je jeho součinitel přenosu větší. Stabilita regulátoru a tím i stabilita regulačního pochodu je větší při malém součiniteli přenosu. Proto správné nastavení součinitele přenosu regulátoru je vždy kompromisem mezi těmito dvěma hledisky.

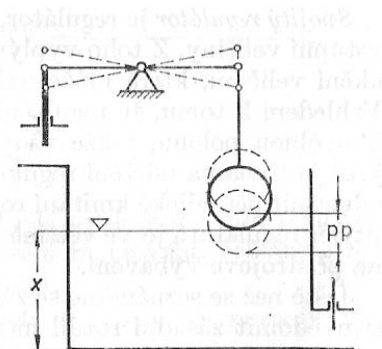


Statická charakteristika regulátoru P

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

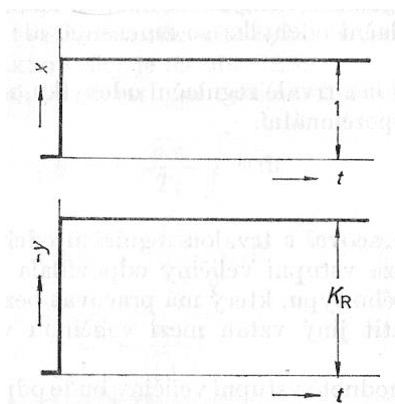
U proporcionálního regulátoru se jako charakteristická veličina místo uvedeného součinitele přenosu regulátoru používá častěji tzv. pásmo proporcionality – pp. Je to rozsah, ve kterém se musí změnit regulovaná veličina, aby se regulační orgán (akční člen) přestavil z jedné polohy do druhé, udává se v %.

$$pp = \frac{1}{KR} \cdot 100 \quad \text{‰}$$



Pásmo proporcionality regulátoru P

b) Přechodová charakteristika proporcionálního regulátoru



Přechodová charakteristika regulátoru P

Z obrázku je patrné, že při skokové změně vstupní veličiny se ustálí výstupní veličina velmi rychle, téměř okamžitě na nové hodnotě, jejíž velikost můžeme ovlivnit nastavením pásma proporcionality. Regulátor je stabilní.

c) Vlastnosti proporcionálního regulátoru.

Je velmi jednoduchý, levný a stabilní. Nevýhoda je, že pracuje s trvalou regulační odchylkou, kterou nelze odstranit, lze ji pouze ovlivnit volbou pásma proporcionality. Rozšiřuje-li se pásmo proporcionality, zvětšuje se i trvalá regulační odchylka a naopak zužuje-li se pásmo proporcionality, trvalá regulační odchylka se zmenšuje, ale tím se zmenšuje i stabilita regulátoru.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

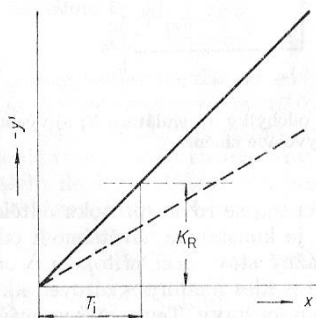
5.7.2 Integrační regulátor (I)

Tento regulátor má pracovat bez trvalé regulační odchylky, musí tedy každé hodnotě vstupní veličiny odpovídat určitá změna rychlostí výstupní veličiny.

$$y = -\frac{KR}{Ti} \int x \, dt \quad Ti \text{ je časová integrační konstanta}$$

a) Statická charakteristika integračního regulátoru.

Jedinou charakteristickou veličinou, kterou můžeme ovlivňovat vlastnosti integračního regulátoru, je časová konstanta integrační T_i . Součinitel přenosu je konstantní – nelze je měnit. Integrační regulátor reguluje tím citlivěji a přesněji, čím je jeho časová integrační konstanta menší, zatímco jeho stabilita se naopak zmenšuje.



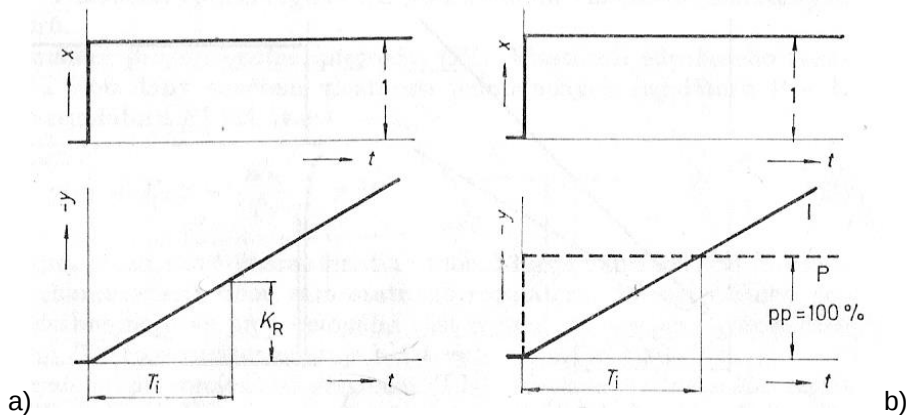
Statická charakteristika regulátoru I

b) Přechodová charakteristika integračního regulátoru

Změní-li se vstupní veličina skokem ($x = 1$), pak

$$y = -\frac{KR}{Ti} \int dt \quad y = -\frac{KR}{Ti} t$$

Charakteristickou veličinou integračního regulátoru je časová konstanta integrační T_i . Je to doba, za kterou výstupní veličina dosáhne stejné hodnoty, jaké by dosáhla, kdyby přenos regulátoru byl proporcionální a pásmo proporcionality bylo 100%



a) Přechodová charakteristika regulátoru I

b) Grafické vyjádření integrační časové konstanty

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

c) Vlastnosti integračního regulátoru.

Je schopnost regulačního orgánu ustálit se na žádané hodnotě v libovolné poloze. Pracuje bez trvalé regulační odchylky. Vzhledem k jeho astatickosti (nestabilitě) není vhodný pro regulaci astatických soustav.

5.7.3 Derivační regulátor (D)

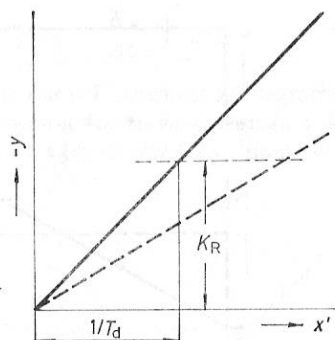
U tohoto regulátoru změna rychlosti vstupní veličiny odpovídá přímo úměrná hodnota výstupní veličiny.

$$y = -T_d K_R x'$$

T_d je časová konstanta derivační

a) Statická charakteristika derivačního regulátoru.

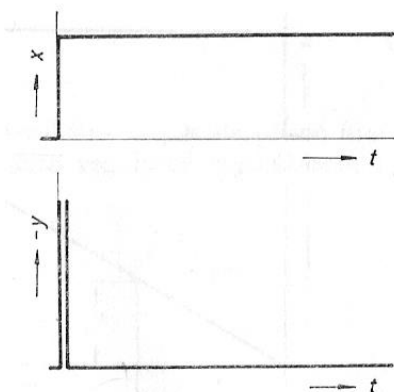
Charakteristickou veličinou regulátoru, kterou lze ovlivňovat jeho vlastnosti je časová konstanta derivační T_d . Součinitel přenosu regulátoru K_R je pro daný typ regulátoru konstantní – nelze je změnit. Derivační regulátor reguluje tím citlivěji a přesněji, čím je jeho časová konstanta T_d větší. Stabilita regulátoru se naopak zmenšuje.



Statická charakteristika regulátoru D

b) Přechodová charakteristika derivačního regulátoru.

T_d je definována jako doba, za kterou výstupní veličina dosáhne stejné hodnoty, jaké by dosáhla, kdyby přenos regulátoru byl proporcionální a pásmo proporcionality bylo 100%

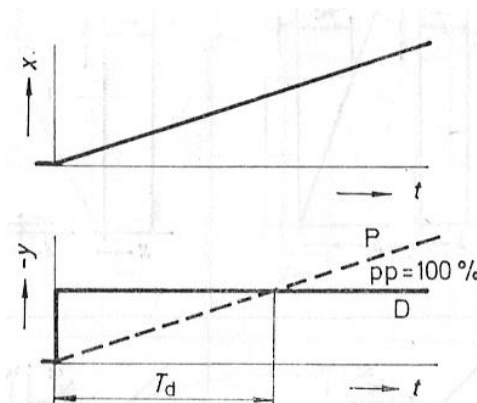


Přechodová charakteristika regulátoru D

c) Vlastnosti derivačního regulátoru.

Používá se pro zrychlení regulačního pochodu. Vzhledem k tomu, že tento regulátor nereaguje na regulační odchylku, ale pouze na změnu rychlosti regulační odchylky, nelze jej samostatně použít. Používá se pouze ve spojení s předcházejícími typy regulátorů.

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Grafické vyjádření derivační časové konstanty

Kontrolní otázky a úlohy:

- 1) Co je spojitý regulátor?
- 2) Popiš, jak pracuje proporcionální regulátor.
- 3) Popiš, jak pracuje integrační regulátor.
- 4) Popiš, jak pracuje derivační regulátor.

Použita literatura a zdroje obrázků:

MARŠÍK, Antonín – KUBIČÍK, Miroslav. *Automatizace, automatické řízení ve strojírenství*. 1 vyd.
Praha:
SNTL, 1980