

Automatizace 4

Ing. Jiří Vlček

Soubory At1 až At4 budou od příštího vydání (podzim 2008) součástí publikace Moderní elektronika. Slouží pro výuku předmětu automatizace na SPŠE.

7. Regulace

Úkolem regulace je přibližování nějaké veličiny k pevně zadané hodnotě, udržování nějaké veličiny na zadané hodnotě nebo přibližování regulované veličiny k postupně zadávaným odlišným hodnotám. Regulace je proces, který **udržuje (stabilizuje) nějakou fyzikální veličinu v blízkosti požadované hodnoty**, tj. stabilizuje regulovanou veličinu průběžně na hodnotě blízké hodnotě řídicí veličiny.

Při sprchování je např. požadována stálá teplota vytékající vody. Teplota vody musí být regulována (stabilizována) a je zde regulovanou veličinou, která je průběžně snímána a na základě její hodnoty je nastavována např. páka mísící sprchové baterie nastavující poměr studené a horké vody. Výchylka této páky je zde nastavovanou veličinou. Cílem regulace je stav, kdy skutečná hodnota teploty odpovídá požadované hodnotě teploty, tj. hodnotě řídicí veličiny. **Prvky zajišťující regulaci** vytvářejí svým vzájemným působením tzv. regulační okruh, nebo též **regulační smyčku**.

Regulace probíhá v uzavřené smyčce tvořené nastavovacím řetězem a **zpětnou vazbou regulované veličiny**.

Rušení stability nastavené regulační smyčky je v tomto případě způsobené např. změnou přítoku studené a teplé vody do mísící baterii. Ta je ovlivněna odběrem vody ve vedlejší místnosti, tj. **rušivou veličinou**. Potom dochází k **odchýlení skutečné hodnoty** teploty **od požadované** hodnoty teploty o tzv. **regulační diferenci**. Výchylka páky mísící baterie musí být nastavena na novou hodnotu. Je-li změna výchylky prováděna regulačním mechanismem příliš rychle, může prováděná změna vychýlit regulovanou veličinu opačným směrem a regulovaná soustava **kmitá**.

Optimalizaci regulační smyčky z hlediska rychlosti lze provádět nastavováním činitele zpětné vazby a rychlosti změny nastavované veličiny.

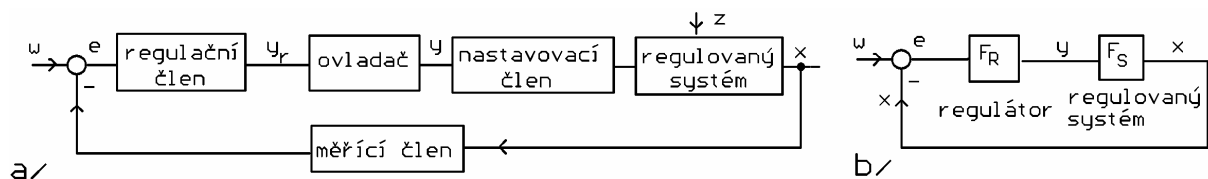
V regulační smyčce je **regulovaná veličina snímána a srovnávána v komparátoru s požadovanou hodnotou**. **Rozdíl požadované hodnoty w a skutečné hodnoty x je regulační diference $e = w - x$** , která je regulačním členem **transformována na výstup regulátoru y_R** a tato veličina je vstupní veličinou **ovladače**, jehož výstupem je **nastavovací veličina y** , která nastavuje pomocí **nastavovacího členu regulovanou veličinu x** .

Ve výše uvedeném příkladu je regulovanou veličinou teplota vody, snímačem je lidská kůže, řídicí veličina je vůle člověka, nastavovací veličina y , je pohyb ruky, ovladačem je lidská ruka, nastavovacím členem je páková baterie. Rušivou veličinou je odběr vody ve vedlejší místnosti.

Ve stabilizovaném stavu regulační smyčky je **regulační diference velmi malá** nebo nulová. Při poruchách nebo změnách nastavení požadované hodnoty řídicí veličiny w roste regulační diference, která je změnou nastavovací veličiny y minimalizována. Aby nedocházelo ke kmitání v regulační smyčce, musí být zajištěno, aby změna nastavovací veličiny neprobíhala příliš rychle.

Zjednodušené schéma regulace obsahuje **regulátor a regulovaný systém**. Regulátor zde přímo řídí nastavování regulovaného systému nastavovacím signálem y .

Regulační smyčka se skládá z regulátoru a regulovaného systému.



Obrázek č. 7.0

a/ regulační smyčka s regulátorem, ovladačem, regulovaným systémem a měřicím členem

b/ zjednodušené schéma regulace

Druhy regulace

Podle účasti člověka je možné regulace dělit na:

- **ruční regulace**, při kterých přebírá některé z funkcí v regulační smyčce člověk a
- **automatické regulace**, které pobíhají bez vlivu člověka, s výjimkou zadávání hodnoty řídicí veličiny, tj. požadované hodnoty regulované veličiny.

Při regulaci na konstantní hodnotu se regulátor stále pokouší **uvést skutečnou hodnotu** regulované veličiny **do souladu s požadovanou (řídicí) hodnotou**.

Rušivé vlivy v regulovaném systému způsobují jen malé nebo přechodné odchylky skutečné hodnoty od požadované hodnoty regulované veličiny.

Při **vlečné regulaci** regulátor způsobuje, že **regulovaná veličina sleduje s časovým zpožděním zadávanou řídicí veličinu** (je za ní vlečena).

Při změnách řídicí veličiny dochází přechodně k odchylkám regulované veličiny od řídicí veličiny.

Úlohou seřízení regulátoru je optimální nastavení parametrů regulátoru, které určují jeho **dynamické chování**, tj. časové zpoždění a zesílení, resp. celou časovou charakteristiku zpětné vazby. Dynamická charakteristika regulátoru, tj. schopnost reagovat na řízení i poruchy je **tím lepší, čím menší jsou časové konstanty regulačních mechanismů**, tj. čím vyšší je jmenovitý kmitočet regulační smyčky. **Zesílení zpětnovazebních signálů** je dané konstantou úměrnosti K , resp. strmostí charakteristiky zesilovače zpětnovazebního signálu.

Ke konstrukci a nastavení regulační smyčky je třeba znát vlastnosti jednotlivých členů regulační smyčky.

U níže uvedených regulačních obvodů nás zajímá především **odezva výstupu na vstupní skokovou funkci**. Ta odpovídá zadání nového požadavku na regulovanou veličinu (např. nové nastavení regulátoru teploty).

Dále nás zajímá výstupní **odezva na vstupní sinusovou funkci**.

7.1 Proporcionální člen bez zpoždění (P-člen)

výstupní signál S_2 P-členu je proporcionální (přímo úměrný) vstupnímu signálu S_1 (viz obr.7.1 a).

Funkční **závislost výstupu na vstupu** je dána násobením konstantním zesilovacím činitelem, tj.

konstantou úměrnosti (proporcionality) K_p .

Konstanta K_p se nazývá zesilovací činitel, i když je v některých případech menší než 1 a představuje zeslabení.

Příklady použití P-členu: převody zvyšující otáčky nebo převody zvyšující krouticí moment, elektronické zesilovače signálu a většina snímačů, např. tachodynamo pro snímání otáček.

Přesně vzato, reagují všechny reálné členy pro přenos signálu s nějakým zpožděním. Jsou-li však tato zpoždění vzhledem k požadované dynamice regulace velmi malá, např. zpoždění signálu ve snímači otáček ve srovnání se setrvačnými dobami změn otáček motoru, jsou tyto členy označovány jako členy bez zpoždění.

P-členy reagují **na vstupní skokový signál** opět **skokovou funkcí na výstupu**. Ve funkčních schématech je tento regulační člen označován grafem skokové odezvy.

Chceme-li zjistit zesilovací činitel P-členu, je třeba znát matematický vztah mezi velikostí výstupního signálu S_2 a velikostí vstupního signálu S_1 . Není-li vztah známý, je třeba zjistit K_p z charakteristiky nebo z výsledků měření.

7.2 Proporcionální člen se zpožděním 1. řádu (PT₁-člen)

PT₁-člen má výstupní odezvu proporcionální s určitým zpožděním vstupnímu signálu.

Charakteristikami PT₁-členu jsou **konstanta úměrnosti (zesilovací činitel) K_p** a **konstanta časového zpoždění τ** .

Odezvou S_2 na skokovou vstupní funkci S_1 je exponenciální funkce odpovídající přechodnému jevu při nabíjení kondenzátoru ve stejnosměrném obvodu, tedy

$S_2 = K_p [1 - e^{-(t/\tau)}]$, kde $e = 2, 7128\dots$). Po době $t = 3 \tau$ má mocnina $e^{-(t/\tau)}$ hodnotu 0,05. Výstupní funkce tak nabývá 95 % své konečné hodnoty a přechodný jev považujeme za ukončený. V ustáleném stavu má výstupní funkce má hodnotu K_p krát větší než vstupní funkce.

Příklady **PT₁-členů** jsou zařízení absorbující část energie vstupního signálu, např. obvody s nezanedbatelnou vstupní kapacitou - **dolní propusti RC** nebo **části zařízení absorbující jiný typ energie**. Příkladem může být stejnosměrný motor s určitým setrvačným momentem rotoru, který reaguje na změnu napětí změnou otáček postupně a ne okamžitě při změně napětí na rotoru. Proporcionální člen se zpožděním prvního řádu je charakterizován **zásobníkem energie a časovou konstantou**.

Příklad: Při zapnutí rotačního pohonu (motoru) s velkým momentem setrvačnosti je náběh otáček nejprve rychlý a pak se otáčky pomalu přibližují ustálené hodnotě. Pohon se chová jako proporcionální člen se zpožděním 1. řádu. Časová konstanta je tím větší, čím větší je moment setrvačnosti J (ovlivněný rozložením hmoty kolem osy rotace), resp. čím menší je tuhost otáček M/n (tj. čím větší je rozpětí otáček při určitém rozpětí krouticího momentu). Zvýšené napětí na kotvě zvětší strmost (rychlost) náběhu otáček i ustálené otáčky při nezměněné časové konstantě τ .

Odezvou PT₁-členy na sinusový signál je rovněž sinusový výstupní signál. Při rostoucím kmitočtu klesá výstupní amplituda, protože nabíjení a vybíjení zásobníku energie nestačí sledovat rychlé změny.

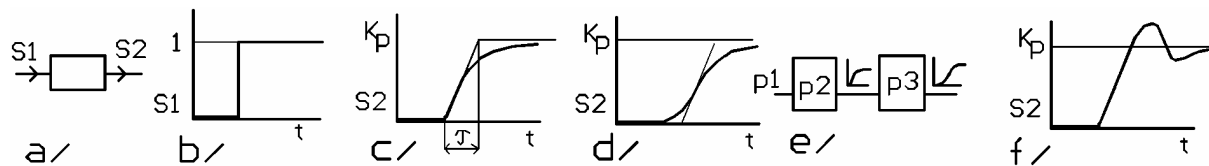
PT₁-člen vyhlazuje průběh střídavých signálů vysokých kmitočtů.

PT₁-člen se proto také nazývá **dolní kmitočtová propust 1. řádu**, protože propouští nízké kmitočty a potlačuje vysoké kmitočty. PT₁-člen je charakterizován úhlovým kmitočtem

$$\omega_m = 2\pi f_m, \quad \omega_m = 1/\tau \dots \quad \text{viz známý vzorec } f_m = 1/2\pi RC \dots$$

Člen PT₁ zpožďuje časově vstupní signál a dochází k fázovému posunu výstupního signálu oproti vstupnímu signálu. Fázový úhly je v rozsahu od $\varphi = 0^\circ$ při úhlovém kmitočtu $\omega = 0$ do $\varphi = -90^\circ$ při úhlovém kmitočtu $\omega \rightarrow \infty$. Při kmitočtu ω_m je fázový posun $\varphi = -45^\circ$.

PT₁-členy způsobují **fázový posun mezi vstupním a výstupním signálem**.



Obrázek 7.1

a/ značka regulačního členu, S_1 vstupní veličina, S_2 výstupní veličina

b/ skoková funkce

c/ proporcionální člen se zpožděním 1. řádu (odezva na skokovou funkci)

d/ proporcionální člen se zpožděním 2. řádu (odezva na skokovou funkci)

e/ soustava se zpožděním 2. řádu – 2 tlakové zásobníky

f/ kmitavý člen

7.3. Proporcionální člen se zpožděním 2. řádu (PT₂-člen) a kmitavý člen

PT₂-člen se skládá ze dvou za sebou zapojených PT₁-členů. Signál zpoždění prvním PT₁-členem je znovu zpožděn druhým PT₁-členem absorbujícím (a pak uvolňujícím) energii. Na skokový vstupní signál reaguje PT₂-člen přenosovou funkcí tvaru protaženého S. Průběh signálu má v počátku vodorovnou směrnicí, vzniká tzn. **dopravní zpoždění**.

Příklad (obr. 7.1 e): Tlakový zásobník 1 je na vstupu plněn plynem pod tlakem p_1 a z jeho výstupu je veden plyn pod tlakem p_2 do tlakového zásobníku 2, na jehož výstupu má tlak p_3 . Tlak p_3 však stoupá pomaleji než tlak p_2 . Graf průběhu skokové odezvy této soustavy má v počátku (v čase $t = 0$) vodorovnou směrnicí, jeho strmost se zvětšuje do inflexního bodu (ve kterém přechází tečna z jedné strany křivky na druhou) a pak zase klesá k nule. Pomocí tečny v inflexním bodě a jejich průsečíků s vodorovnými tečnami křivky jsou získány časové úseky T_u (čas zpoždění) a T_g (čas vyrovnání).

Proporcionální člen se zpožděním druhého řádu má nejméně dva zásobníky energie zařazené za sebou.

Kmitavý člen obsahuje rovněž dva zásobníky energie, které se střídavě nabíjejí (plní) a vybíjejí (vyprazdňují). Protože se však přitom část energie mění v teplo, má odezva členu na skokovou funkci tvar průběhu tlumených kmitů.

Kmitavý člen je charakterizován (určen) jmenovitým **úhlovým kmitočtem** $\omega_0 = 2\pi f_0$ a **činitelem tlumení D**.

Při **D = 0** dochází k **netlumenému kmitání** (sinusový průběh, amplituda se nezmenšuje).

Při hodnotách **D = 0 až 1** je **průběh kmitů tlumený**. (viz obr 7.0 f)

Při **D > 1** má kmitavý člen vlastnosti členu PT_2 , **aperiodický přetlumený průběh** (viz obr.7.1 d)

Při **D = 1** dosáhne regulovaná soustava bez překmitů a v nejkratší době ustáleného stavu. Toto nazýváme **kritické tlumení**. V mnoha případech se považuje za optimální mírně podkritické tlumení (např. u ručkových měřicích přístrojů).

Fázový posuv mezi vstupním a výstupním signálem se mění od 0° pro $f = 0$ do -180° pro $f \rightarrow \infty$. Pro f_0 je úhel posunutí -90° .

Kmitavé členy případně PT_2 -členy se používají také jako **dolní kmitočtové propusti** (druhého řádu). Ořezávají (silně utlumují) ostře kmitočty vyšší než f_0 , a to strměji než pásmové propusti prvního řádu.

Kmitavé členy s malým tlumením se používají jako **oscilátory**, např. při měření času. V hodinách jsou takové oscilátory řízené křemenným krystalem s vlastním kmitočtem několika MHz.

V kmitavém členu dochází k výměně energie mezi dvěma zásobníky.

Příkladem **mechanického oscilátoru** je kulička zavěšená na pružině nebo kyvadlo. Dochází zde k opakované přeměně mezi **kinetickou** (pohybovou) a **polohovou energií**.

Vedle mechanických kmitavých členů existují také **elektrické kmitavé členy**, ve kterých dochází k **výměně energie mezi cívkou** (magnetickým polem) a **kondenzátorem** (elektrickým polem).

Mechanické i elektrické oscilátory se řídí stejnými zákonitostmi, jsou popsány stejnými rovnicemi (diferenciální rovnice 2. řádu).

7.4 Integroační člen (I-člen)

Výstupem integračního členu je signál odpovídající průběhem **integrálu funkce vstupního signálu**.

Integrovaní spočívá v **průběžném přičítání vstupních hodnot** (integrace podle času). Integrační časová konstanta T_1 udává čas, ve kterém (od $t = 0$) dosáhne výstupní funkce hodnoty 1 při konstantní vstupní funkci se hodnotou 1. Převrácená hodnota integrační konstanty T_1 se nazývá integrační činitel K_I . Platí $K_I = 1/T_1$.

Odezvou integračního členu na sinusový vstupní signál je rovněž sinusový výstupní signál. Při malých kmitočtech sinusového signálu, tj. při $\omega \ll \omega_0 = 1/T_1$ má výstupní signál mnohem větší amplitudu než při velkých kmitočtech. Při $\omega = \omega_0$ jsou amplitudy vstupního i výstupního signálu stejné. S rostoucím kmitočtem amplituda výstupního signálu klesá, pro $f \rightarrow \infty$ je nulová. Fázový posuv na integračním členu je stále -90° , tzn. že výstupní signál je zpožděn za vstupním signálem.

Integrační členy vznikají při časovém převodu těchto veličin:

- rychlosti na dráhu,
- zrychlení na rychlost,
- otáček na úhle otáčení,
- průtoku na objem látky,
- elektrického proudu na elektrický náboj,
- kmitočtu impulsů na napětí.

Integrační zesilovač můžeme realizovat pomocí OZ. V obvodu zpětné vazby zapojíme kondenzátor, který omezuje přenos vyšších kmitočtů.

Přibližně platí

$$A_u = -X_c / R_1, \text{ kde } X_c = 1 / 2\pi f C \qquad f_m = 1 / 2\pi R_1 C$$

Pro stejnosměrné napětí by zesílení bylo **nekonečně velké**, což by nebylo vhodné. Paralelně ke kondenzátoru proto zapojíme rezistor R_2 , (který je větší než R_1).

Pro $f < 1/2\pi R_2 C$ bude potom přenos $A_u = 20 \log (R_2/R_1)$ (viz obr 7.2 a, c)

7.5 Derivační člen (D-člen)

Tvar výstupní funkce (signálu) derivačního členu odpovídá **derivaci vstupní funkce** (vstupního signálu). **Derivace** odpovídá **směrnici tečny**, nebo též strmosti grafu vstupního signálu, tj. stoupání (nebo klesání) funkce. Odezvou D-členu na skokovou změnu (skokovou funkci) je jehlový impuls. Odezvou D-členu na lineárně rostoucí funkci (signál) je konstantní funkce (signál). Matematicky vyjádřeno (derivací): $y = (k \cdot x)' = k$, kde k je konstanta.

D-členy na vstupu operačních zesilovačů mohou sloužit např. k derivování signálu snímače. Je-li tímto signálem údaj dráhy (polohy) x je derivací toho signálu signál udávající rychlost $v_x = dx/dt$ (první derivace dráhy podle času).

Derivační členy zesilují vysokofrekvenční signály.

Derivační zesilovač můžeme realizovat pomocí OZ. Do vstupu invertujícího zesilovače zapojíme kondenzátor, který omezuje přenos nízkých kmitočtů.

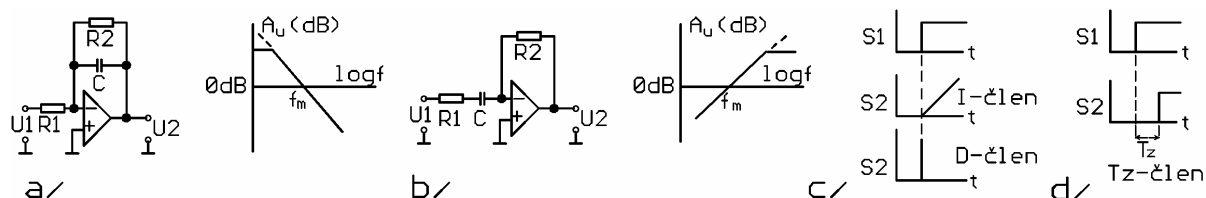
Přibližně platí

$$A_u = -R_2 / X_c, \text{ kde } X_c = 1 / 2\pi f C$$

$$f_m = 1 / 2\pi R_2 C$$

Pro nekonečně **vysoký** vstupní **kmitočet** by **zesílení** bylo **nekonečně velké**, což by nebylo vhodné. Zesilovač by nadměrně zesiloval šum a různé vysokofrekvenční signály. Do série s kondenzátorem proto zapojíme rezistor R_1 (menší než R_2).

Pro $f > 1/2\pi R_1 C$ bude potom přenos $A_u = 20 \log (R_2/R_1)$ (viz obr 7.2 b, c)



Obrázek 7.2

a / integrační zesilovač a jeho kmitočtová amplitudová charakteristika (čárkovaně bez R_2)

b derivační zesilovač a jeho kmitočtová amplitudová charakteristika (čárkovaně se zkratovaným R_1)

c / odezva integračního a derivačního členu na skokovou funkci

d / odezva zpoždovacího členu na skokovou funkci (T_z – zpoždění)

7.6 Zpoždovací člen (T_z -člen)

Odezvou zpoždovacího členu na skokovou změnu vstupního signálu je **časově zpožděná skoková změna výstupního signálu**. Změna (reakce) na výstupu následuje po určitém (mrtvém) čase T_z , tj. po určitém zpoždění viz obr. 7.2 d).

Zpoždovací členy jsou používány při počítačovém zpracování signálů.

Dalšími příklady zpoždovacích členů jsou všechny systémy s určitou dobou přenosu signálu ze vstupu na výstup.

Ke zpoždění signálu může docházet tím, že je výstupní veličina měřena s určitým zpožděním za účinkem vstupní veličiny, např. síla válcovaného materiálu může být měřena v určité vzdálenosti za nastavovanou vzdáleností mezi válci, nebo např. koncentrace kyseliny může být měřena v určité vzdálenosti za místem míchání s vodou, čidlo měření teploty nemůže být v těsné blízkosti topného tělesa.

Při vytápění obytných prostor dochází ke zpoždění ohřevem vody v ústředním topení, dobou než se z kotelny dostane do obytných místností a dobou než se od ní ohřeje vzduch, který ovlivní čidlo snímání teploty. Tato skutečnost může být příčinou rozkmitání celé soustavy.

Zjednodušený pohled na problematiku regulace najde čtenář v kapitole Regulace a automatizace, která se zabývá obvodovou realizací různých regulátorů teploty (v místnosti, v akváriu, na hrotu pájecího pera). Je zde použit proporcionální regulátor. Tam, kde dochází k příliš velkému zpoždění, hrozí zátky. V takovém případě je jedním z možných řešení v průběhu regulace měnit zesílení (v daném případě výkon topení). K této změně lze např. použít pulsní šířkovou modulaci (PWM).

7.7 Regulátory a regulační obvody

Součinnost více tvarovacích členů

K dosažení potřebného účinku při tvarování signálů se spojují tvarovací obvody (členy) do řetězce za sebe tak, že výstup z jednoho členu je vstupem pro následující člen a výstup z posledního členu je výstupem celého řetězce.

Při **sériovém** spojení obvodů pro tvarování signálů se jejich **zesílení násobí**.

Fázové posunutí signálu způsobená každým členem řetězce **se sčítají** a celkové fázové posunutí se rovná součtu fázových posunutí jednotlivých členů, a to při určitém uvažovaném kmitočtu přenášeného (a tvarovaného) signálu (viz obr.7.3 a).

Spínací (přepínací) regulátory mění nastavovací veličinu přepínáním dvou nebo několika hodnot (stupňů). Obsahují spínací kontakty nebo elektronické spínací obvody řízené pomocí klopných obvodů.

Analogové regulátory představují stále (plynule) nastavovací člen. Jejich základním prvkem je většinou operační zesilovač.

Číslicové regulátory mění nastavovanou veličinu stupňovitě. Při mnohastupňové regulaci může být regulace jemná a plynulá téměř jako analogová regulace. Číslicové regulátory bývají většinou řízené mikrokontrolérem.

Spínací regulátory (viz obr.7.3 b)

Dvoustavové regulátory mají **dva** rozlišitelné **stavy** nebo též polohy. Používají se např. k regulaci teploty. **Bimetalový** regulátor spojuje v jedné jednotce **snímač, komparátor a spínač**. Překročí-li skutečná teplota požadovanou hodnotu, prohne se bimetalový pásek a odpojí topení. Klesne-li regulovaná teplota pod dolní mezní hodnotu, zapne bimetalový spínač znovu topení. Aby kontakty při malé vzdálenosti nejiskřily, je sepnutí (i odtrh) urychleno trvalým magnetem, který při rozpínání pozdrží rozpojení a kontakty jsou pak odtrženy od sebe při napružení bimetalového pásku, tedy rychleji a do dostatečné vzdálenosti. Vlivem tohoto trvalého magnetu existuje přepínací diference (hystereze) mezi vypínací teplotou a zapínací teplotou.

Spínací regulátory se používají nejen k regulaci teploty, ale také často k regulaci tlaku a výšky náplně zásobníku. Klesne-li tlak v zásobníku stlačeného vzduchu pod přípustnou mez, je pomocí tlakového snímače zapnut motor kompresoru. Dosáhne-li tlak horní přípustné hranice, je motor vypnut.

Čím větší je přepínací diference, tím více kolísá (kmitá) regulovaná veličina kolem požadované hodnoty. Přepínací diference se nazývá **hystereze regulátoru**.

Analogové regulátory

Analogové regulátory jsou regulátory, které mohou nastavit nastavovací veličinu na kteroukoliv hodnotu mezi oběma krajními hodnotami spojitého rozsahu. Jsou také označovány jako spojitě regulátory. Nejdůležitějšími analogovými regulátory jsou P-regulátor, PI-regulátor a PID-regulátor.

P-regulátor (proporcionální regulátor) je **nejjednodušší** regulátor. **Zesiluje regulační diferenci a pak ji používá jako nastavovací veličinu. Čím větší je zesílení regulátoru, tím rychlejší je regulace i náchylnost regulátoru ke kmitání.** P-regulátory pracují **bez zpoždění**. Jsou tvořeny **operačním zesilovačem** (invertující zapojení)

PI-regulátor vytváří **nastavovací veličinu součtem dvou složek**. Jedna složka je tvořena proporcionální odezvou na regulační diferenci (**P-složka**) a druhá integrální složka (**I-složka**) je úměrná součinu P-složky a času.

Elektronický PI-regulátor je kombinací P-regulátoru a I-regulátoru. PI-regulátory se často používají k regulaci otáček, protože díky I-členu úplně odstraňují regulační diferenci, neboť I-složka má zpožděnou účinnost.

PI-regulátor zesiluje a integruje regulační diferenci. Díky tomu je nastavovací člen účinně přestavován a odstraní úplně regulační diferenci.

PID-regulátor

Nejuniverzálnějším regulátorem je PID-regulátor. Nastavovací signál je tvořen **váženým součtem** proporcionální odezvy na regulační diferenci (tj. zesílené regulační diference, tedy **P-složky**),

integrálu P-složky (**I-složky**) a derivace P-složky (**D-složky**). Při vzniku regulační diference vytváří P-složka okamžitě trvalou složku nastavovacího signálu. I-složka vytváří účinnou složku nastavovacího signálu i při nepatrné regulační diferenci, kterou může odstranit v prakticky dosažitelném čase. D-složka se uplatní jen při změnách regulační diference a může předvídavým překmitem nastavovacího signálu urychlit vyrovnání náhle vzniklé regulační diference.

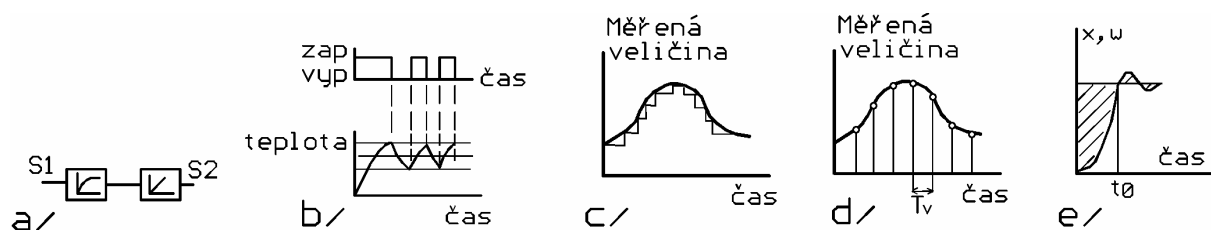
Číslicová regulace

Úlohou řídicích počítačů v zařízeních je řízení regulace. V jednotlivých případech se jedná o **snímání hodnot veličin**, informujících o stavu procesu, např. teploty, dráhy, tlaku nebo otáček, jejich **porovnávání s mezními hodnotami** vypočtenými z hodnot řídicích veličin a **výpočty hodnot nastavovacích signálů**.

Nastavovací veličiny, např. napětí na motoru, ovlivňují proces a tím opět snímané stavové veličiny. Tím je tvořena uzavřená regulační smyčka mezi regulovaným procesem a regulátorem, který je realizovaný jako počítačový program. Úlohou počítače je tedy počítat regulační diferenci a v souladu s naprogramovanými vlastnostmi regulátoru vypočítávat hodnoty nastavovací veličiny a odpovídající signál předávat akčnímu členu v řízeném či regulovaném procesu. Počítač také zpravidla kontroluje, zda nepřekračuje regulační diference meze bezpečnosti a dohlíží tak na bezpečnost regulovaného procesu.

K číslicové regulaci může být použit mikropočítač nebo desky číslicové regulace (s mikrokontroléry) pro programovatelné automaty.

Samooptimalizující nebo též **adaptivní** regulační systém může být **programovou změnou parametrů upravován a přizpůsobován regulovanému procesu tak, aby byla regulace optimální**, tj. rychlá a bezpečná (bez nebezpečného kmitání).



Obrázek 7.3

a/ kaskádní zapojení zpožďovacího a integračního členu

b/ řízení teploty spínacím regulátorem

c/ digitalizace analogového signálu (silně analogová veličina, slabě digitalizovaná veličina)

d/ vzorkování analogového signálu (T_v perioda vzorkování, $f_{vzork} = 1 / T_v$)

e/ odezva optimálně nastavené regulační smyčky (vyšrafovaná plocha musí být co nejmenší)

Digitalizace a vzorkování signálu

Analogové veličiny sledované jako parametry regulovaného procesu musí být pro účely číslicového zpracování popisovány čísly s určitou přesností, tj. stupni (dílký) určité diskretní stupnice. Podle počtu rozlišitelných stupňů měřeného rozsahu je třeba volit šířku slova při ukládání číselných hodnot s odpovídající přesností do paměti počítače. **Numerická rozlišitelnost počítače** by měla být výrazně **větší, než rozlišitelnost snímače** v regulované smyčce, aby byla chyba způsobená zpracováním dat co nejmenší. Při malé numerické rozlišitelnosti, tj. při příliš hrubém měřítku digitalizace by se mohlo stát, že by při malých rychlostech posunu docházelo ke změně polohy o jeden dílek ve velkých časových intervalech a s rostoucí dobou mezi odečty změn by nebyl údaj při malé změně v každém snímacím (a výpočetním) cyklu aktualizován, což by mohlo být zdrojem chyb.

Číslicový počítač nemůže zpracovávat kontinuálně analogové signály z procesu jako analogový regulátor, ale může snímat nebo též odečítat či **vzorkovat** periodicky jejich **okamžité hodnoty**, např. s opakovací periodou 10 ms. Mluvíme pak o **časové diskretizaci**.

Číslicová regulace pracuje s hodnotově a časově diskretizovanými proměnnými, tj. přiřazuje v diskretních časech snímaným hodnotám diskretní hodnoty (viz obr.7.3 c).

Časově a hodnotově kontinuální signály, tj. signály se spojitým průběhem, jsou **digitalizovány pomocí A/D převodníku**, spínače a paměťového členu (paměti odečtené hodnoty, tj. vzorku signálu). Snímání (přenos do počítače) digitalizovaných hodnot se uskutečňuje periodicky s periodou T_A v krátkých časových okamžicích (časová diskretizace, viz obr.7.3 d).

Časově a hodnotově diskretizovaný signál schodovitěho průběhu odpovídá původnímu spojitému signálu **tím přesněji, čím větší je vzorkovací kmitočet** $f_A = 1/T_A$ a **čím větší počet stupňů má A/D převodník**. Maximální možný vzorkovací kmitočet je dán délkou regulačního programu, který může regulovat i více smyček, a rychlostí počítače.

Snímání vzorků signálu a jejich uchovávání ve stupních pamětech způsobuje (vzorkovací) **zpoždění za původním signálem**, odpovídající polovině snímací (vzorkovací) periody. Tento časový posun působí stejně jak fázový posun a ovlivňuje regulační smyčku v souvislosti se sklonem ke kmitání podobně nepříznivě, jako např. zpožďovací člen (který může obrátit fázi zpětné vazby a způsobit oscilace). Fázový posun způsobený ukládáním vzorků do vyrovnávacích (vstupních) pamětí narůstá s rostoucím kmitočtem signálu, tj. s rostoucí rychlostí dějí snímaného a regulovaného procesu.

Vzorkovací (snímací) kmitočet regulátoru by měl být při číslicové regulaci s ohledem na přesnost regulace **co největší**.

Regulace P-systémů

V regulačních smyčkách, obsahujících regulované systémy charakterizované lineárními zpožděnými přenosy, tj. proporcionální systémy, jsou většinou používány PI-regulátory nebo PID-regulátory.

Při rychlých změnách řídicí veličiny (regulaci rychlých dějů) se používají **PI**-regulátory.

Řídicí veličina se rychle mění při vlečné regulaci, kdy je regulovaná veličina e stálém vleku (se stálou regulační diferencí) za řídicí veličinou bez nebezpečí překmitu. PID-regulátor je pro děje se prudkými změnami nevhodný pro jeho překmit při prudké změně způsobené jeho derivačním členem, který zde není výhodou, ale v tomto případě jen možnou příčinou nelinearity.

PID-regulátor je efektivní při **regulaci pevné hodnoty**, při které je regulační diference vyvolávaná rušivými vlivy, tj. např. při regulaci pevně nastavené teploty.

Regulace I-systémů

Při regulaci systémů obsahujících integrující prvky (I-členy) jsou ve vlečných regulačních smyčkách používány většinou P-regulátory.

Nastavení regulátoru

Dobrá regulace je podmíněna dobrým nastavením regulátoru. Regulátor je většinou nastavován tak, aby **při skokové změně řídicí veličiny w dosáhla regulovaná veličina x co nejdříve nově nastavené požadované hodnoty** x_{poz} a přitom **jen málo** a krátkodobě tuto požadovanou hodnotu $x_{poz} = w$ **překmitla**. Rychlost je posuzována podle doby regulační odezvy t_0 , za kterou dosáhne regulovaná veličina poprvé nově nastavené hodnoty. **Doba regulace** t_r je doba, po které se po skokové změně řídicí veličiny zmenší rozkmit oscilací kolem nově nastavené hodnoty w pod předepsané rozpětí, většinou 10 % w . Regulátor je nastavován pomocí parametrů K_{PR} (konstanta úměrnosti), T_n (časové integrační konstanta) a T_v (časová derivační konstanta). Velká hodnota K_{PR} při malé hodnoty T_n vede vždy k silnému kmitání (s velkým rozkmitem) nebo k dlouhému (málo tlumenému) kmitání, vede tedy k nestabilitě regulační smyčky.

Regulační smyčka je většinou **optimálně nastavena**, nabývá-li **regulační plocha** (viz obr 7.3 e) **nejmenší** hodnoty.

Samooptimalizující regulátory obsahují mikrokontrolér, který mění parametry a **počítá regulační plochu tak dlouho, až najde její minimum**. Při výpočtech může být regulační smyčka simulována matematickým modelem regulovaného systému a regulačním algoritmem, jehož parametry jsou měněny.

Dynamika regulační smyčky otáček závisí především na momentu setrvačnosti pohonu a na maximálním krouticím (točivém) momentu motoru pohonu. Je snahou mít pohon s **malým setrvačným momentem** a s **velkou rezervou výkonu** resp. krouticího momentu, tj. s malou časovou konstantou T_A .

Literatura:

- 1/ Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku, Dietmar Schmid a kolektiv, Sobotáles, 2005
- 2/ Snímače v motorových vozidlech, Bosch 2001