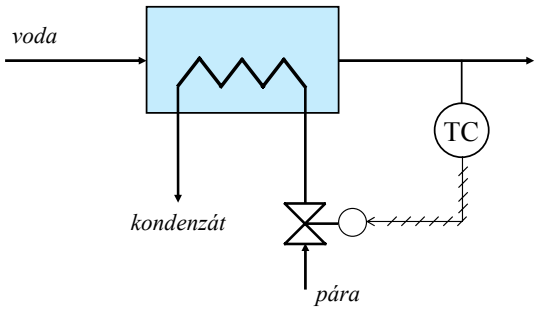
Speciální regulační obvody

- **dopředná regulace**
- **obvod s měřením poruchy**
- **obvod s pomocnou regulovanou veličinou**
- **obvod s pomocnou akční veličinou**
- **poměrová regulace**

Jednoduchý zpětnovazební regulační obvod

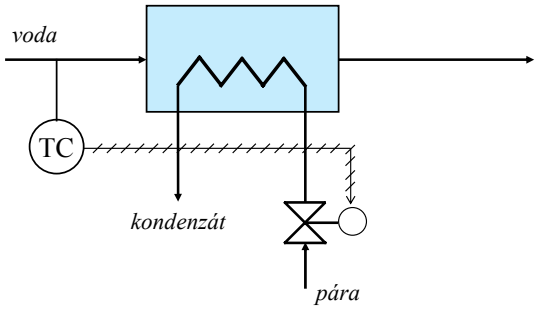
výměník tepla vyhřívaný parou



měří regulovanou veličinu a z ní odvozuje akční zásah

Obvod dopředné regulace

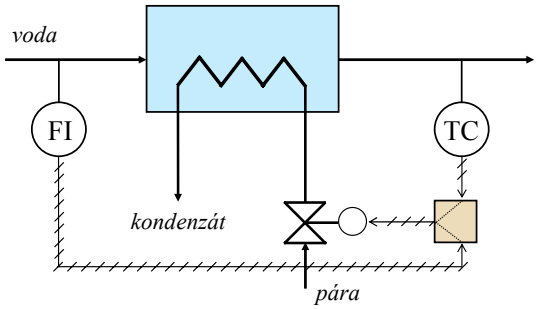
výměník tepla vyhřívaný parou



měří poruchu (teplotu na vstupu), z ní odvozuje akční zásah, nekoriguje výsledek (obvod bez zpětné vazby)

Jednoduchý zpětnovazební regulační obvod s měřením poruchy

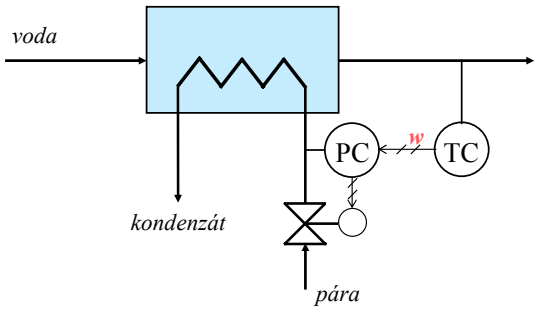
výměník tepla vyhřívaný parou



měří regulovanou veličinu (výstupní teplotu) a poruchu (průtok), z nich odvozuje akční zásah
(měření poruchy urychluje reakci na ni, zpětná vazba koriguje výsledek)

Obvod s pomocnou regulovanou veličinou (vlečná regulace)

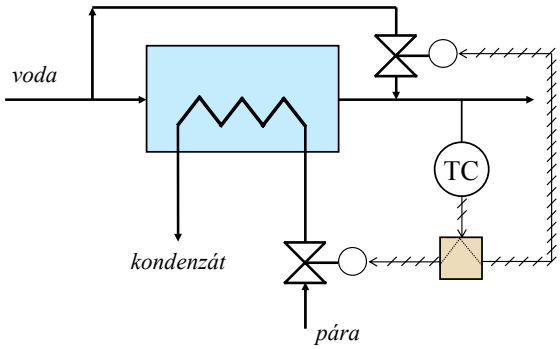
výměník tepla vyhřívaný parou



měří hlavní regulovanou veličinu (teplota) a nastavuje žádanou hodnotu regulace pomocné regulované veličiny (tlak páry)

Obvod s pomocnou akční veličinou

výměník tepla vyhřívaný parou

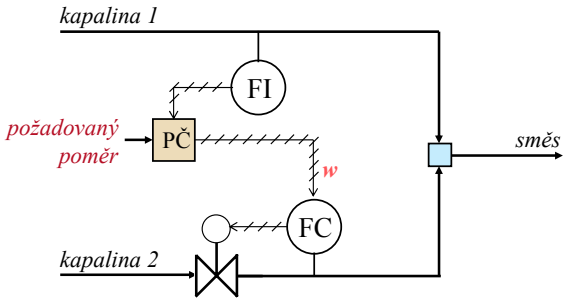


měří regulovanou veličinu (teplota) a z ní odvozuje dvojí akční zásah:

- průtok topné páry (hlavní akční veličina)
- průtok vody obtokem (pomocná akční veličina)

Poměrová regulace

směšování kapalin v určitém poměru podle průtoků



(PČ ... poměrový člen)

měří jeden (řídicí) průtok (kapalina 1) a podle něj a daného poměru nastavuje žádanou hodnotu regulace druhého (řízeného) průtoku (kapalina 2);
(zvláštní případ vlečné regulace)

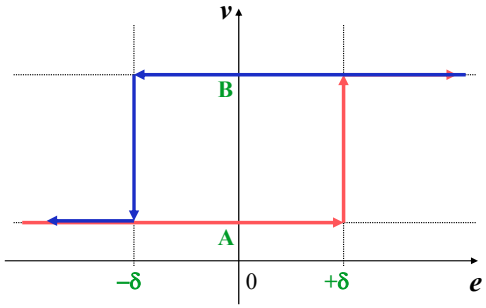
Nespojité regulační obvody

- **dvoupolohová regulace**
- **číslicové signály, vzorkování, filtrace**
- **číslicová regulace**
- **adaptivní regulace**

Dvoupolohová regulace

Dvoupolohový regulátor

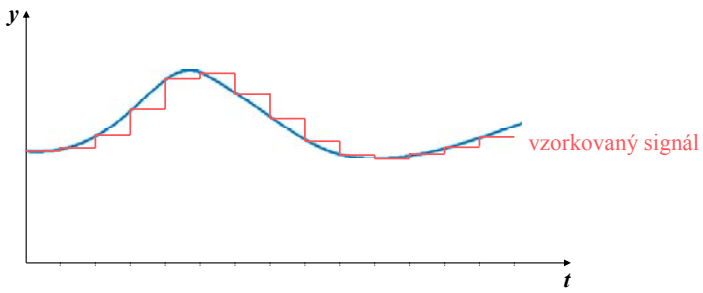
- regulátor ovládá akční člen dvoupolohově
  (vypnuto / zapnuto, zavřeno / otevřeno,..., obecně výstup **A** nebo **B**)
- regulátor musí být vybaven hysterezí (necitlivostí ±δ)



e ... reg. odchylka, ***v*** ... výstup z regulátoru (nabývá hodnot **A** nebo **B**)

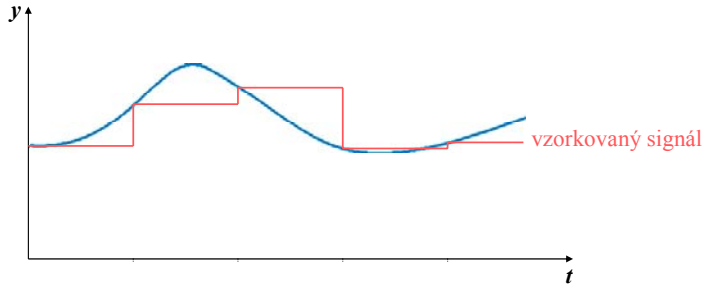
Číslicové zpracování signálu

Vzorkování signálu



T_S ... perioda vzorkování

Vzorkování signálu

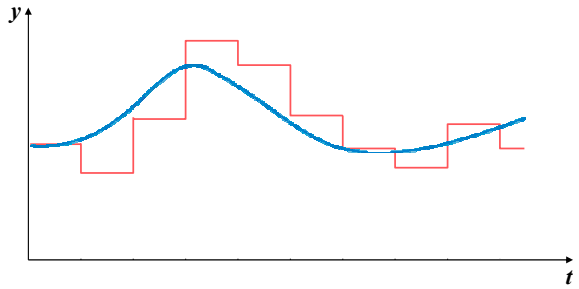


vzorkovací teorém: $T_S < 0{,}5.T_{min}$

(T_{min} ... nejmenší perioda změn signálu, kterou chceme ještě zachytit)

DOPORUČENÍ: volit periodu vzorkování 2 - 5x menší než vychází výpočtem podle vzorkovacího teorému

Vzorkování signálu se šumem



Číslicová filtrace signálu

Algoritmy základních jednoduchých filtrů:

mediánový filtr:
vezme lichý počet naposled naměřených hodnot, seřadí je podle velikosti a prostřední z nich je výslednou filtrovanou hodnotu

klouzavý průměr:
vezme určitý počet naposled naměřených hodnot, vypočte jejich aritmetický průměr a ten je výslednou filtrovanou hodnotu

exponenciální filtr:
matematický popis vychází z řešení rovnice pro soustavu 1.řádu

$$T_F \frac{dy_F}{dt} + y_F = y_M$$

(y_M ... měřená hodnota, y_F ... filtrovaná hodnota, T_F ... čas.konstanta filtru),
výsledný výpočetní vztah

$$\boxed{y_{FN} = k_F.y_M + (1-k_F).y_{FS}}$$

y_{FN} ... nová filtrovaná hodnota (v čase t),
y_{FS} ... stará filtrovaná hodnota (v čase t-T_S ; T_S ... perioda vzorkování),
k_F ... filtrační koeficient, $k_F \in (0,1)$

Číslicová regulace

Princip číslicových regulačních algoritmů

- základní vlastnosti ústředního členu (**P**, **I**, **D**) zachovány,
- operace integrace a derivace převedeny na numerické,
- časovým krokem numerického řešení je perioda vzorkování T_S

Algoritmus regulátoru **PS** (číslicová verze **PI** s interakcí):

základní rovnice pro PI regulátor: $v = r_0 \left[e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e.d\tau \right]$

převod na přírůstkový tvar (tj. změna výstupu za periodu vzorkování)

náhrada integrace numerickou integrací obdélníkovým pravidlem,
zavedení indexů pro čas: $t \ldots j$, $t\text{-}T_S \ldots j\text{-}1$

výsledný vztah:

$$\boxed{v_j = v_{j-1} + K_1.(e_j - e_{j-1}) + K_2.e_j}$$

parametry regulátoru: $K_1 = r_0$, $K_2 = r_0 \frac{T_S}{T_i}$

Princip číslicových regulačních algoritmů

Algoritmus regulátoru **PSD** (číslicová verze **PID** s interakcí):

základní rovnice pro PID regulátor: $v = r_0 \left[e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e.d\tau + T_d \frac{de}{dt} \right]$

výsledný vztah:

$$\boxed{v_j = v_{j-1} + K_1.e_j + K_2.e_{j-1} + K_3.e_{j-2}}$$

parametry regulátoru:

$$K_1 = r_0 \left[1 + \frac{T_S}{2T_i} + \frac{T_d}{T_S} \right]$$

$$K_2 = -r_0 \left[1 - \frac{T_S}{2T_i} + \frac{2T_d}{T_S} \right]$$

$$K_3 = r_0 \frac{T_d}{T_S}$$

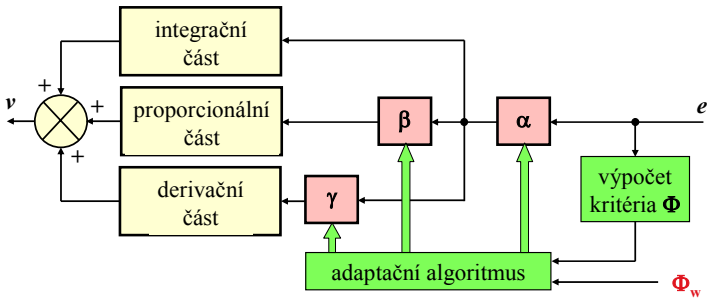
Adaptivní regulátory

Princip adaptivního regulátoru

průběžně (každou periodu vzorkování) nebo v delších časových intervalech vyhodnocuje regulační pochod a upravuje hodnoty svých parametrů

přizpůsobuje své dynamické vlastnosti změnám dynamických vlastností regulované soustavy

Princip adaptivního regulátoru (Ing. Maršík)



Φ ... míra kmitavosti

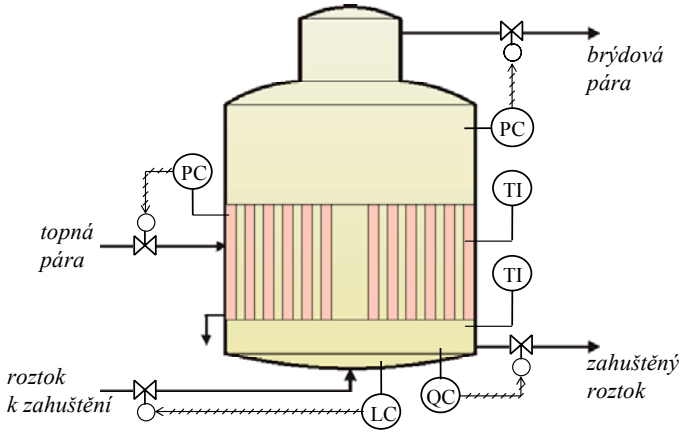
výpočet akčního zásahu:

$$v_j = S_j + \alpha_j.[\beta_j.e_j + \gamma_j.(e_j - e_{j-1})]$$

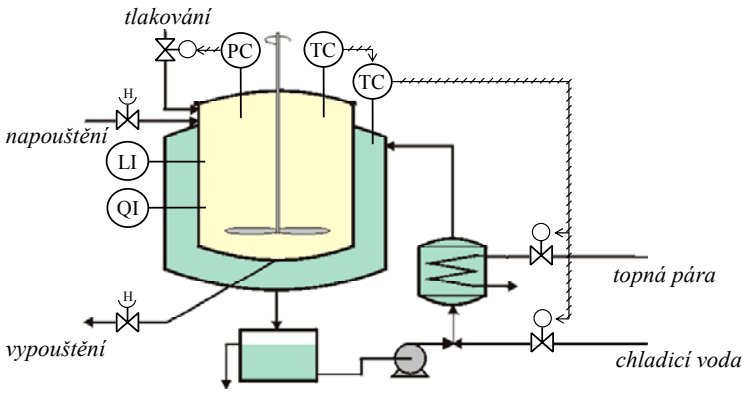
$$S_j = \alpha_j.e_j + \sum_{i=0}^{j-1} \alpha_i.e_i$$

Typická regulační schémata vybraných technologických aparátů

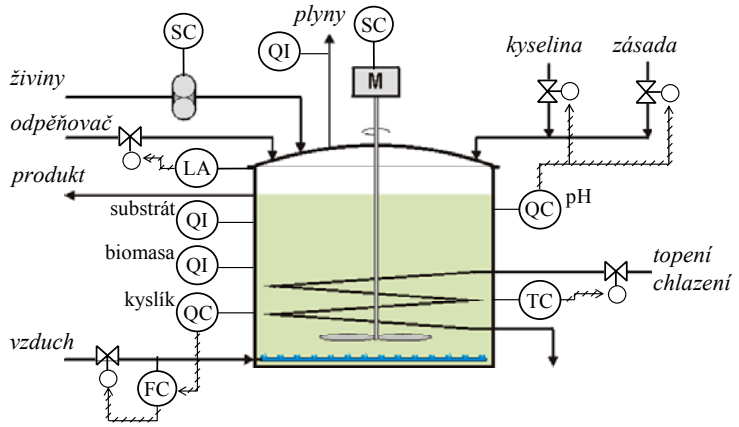
Odpařovák



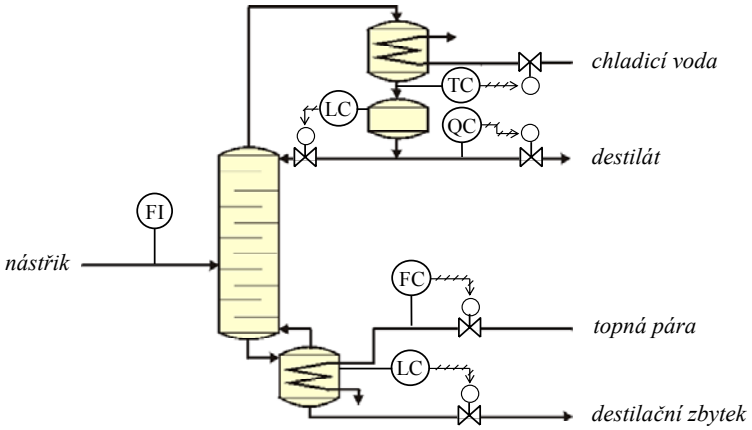
Vsádkový reaktor (autokláv s duplikátorem)



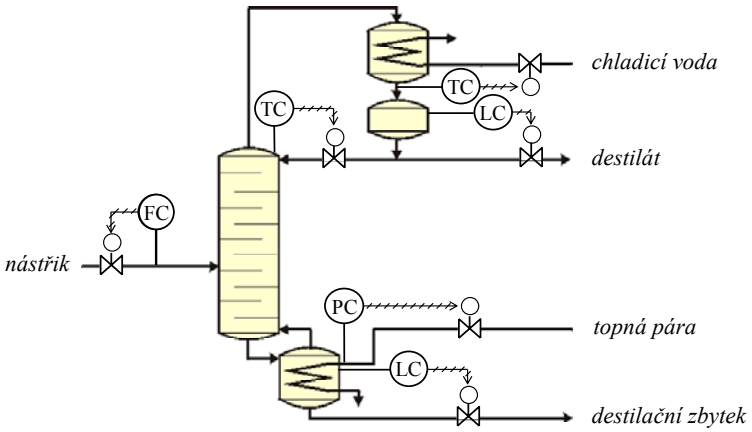
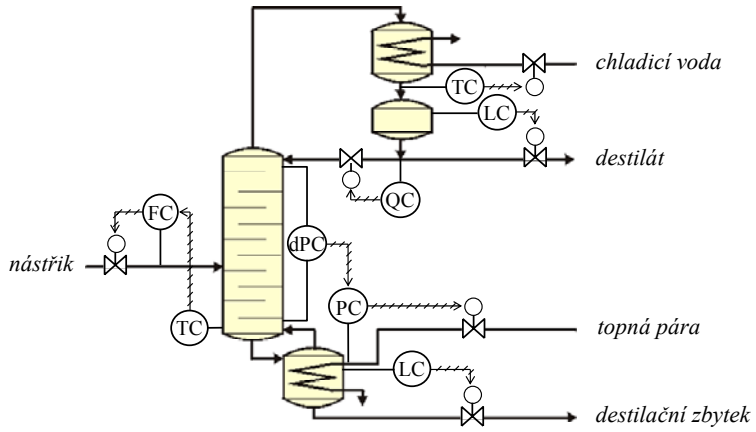
Průtočný fermentor



Rektifikační kolona (1)



Rektifikační kolona (2)



Rektifikační kolona (3)