

Měřicí a řídicí technika
Úvodní cvičení

Laboratoř měřicí a řídicí techniky

Úvodní cvičení k laboratorní práci s tematikou měření a regulace technologických veličin

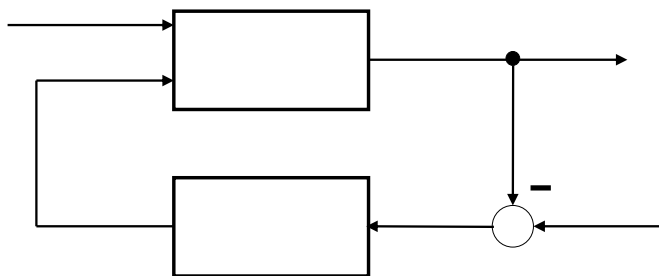
- Blokové a technologické schéma regulačního obvodu
- Statické a dynamické vlastnosti soustav
- Průběh spojitě a dvoupohové regulace

Příprava na laboratorní práce

- GL, GP, GF, GT (výukové stanice GUNT)
- A40 (výuková stanice Armfield)
- EQ

ÚVOD – LMRT_2015/16
K. Kadlec, 22. 2. 2016 1

Blokové schéma regulačního obvodu



Do schématu vyznačte:

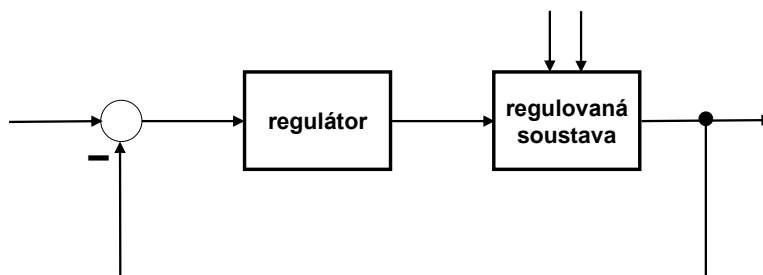
- a) regulovanou soustavu
- b) regulátor
- c) regulovanou veličinu y
- d) poruchovou veličinu z
- e) akční veličinu u
- f) veličinu řídicí w
- g) regulační odchylku e

- 1) Kde je ve schématu porovnávací člen?
- 2) Která veličina určuje žádanou hodnotu regulované veličiny?
- 3) Napište vztah pro regulační odchylku.
- 4) Co je cílem regulace?

2

Blokové schéma regulačního obvodu

Jiný způsob kreslení blokového schématu regulačního obvodu



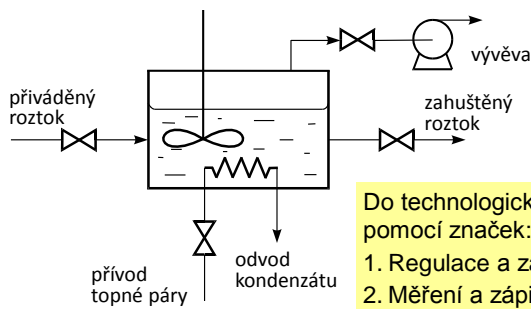
Do schématu vyznačte:

- a) regulovanou veličinu y
- b) poruchovou veličinu z
- c) akční veličinu u
- d) veličinu řídicí w
- e) regulační odchylku e

3

Označování měřících a řídicích obvodů v technologických schématech

Na obrázku je schéma vakuové odparky pro zahušťování roztoku.

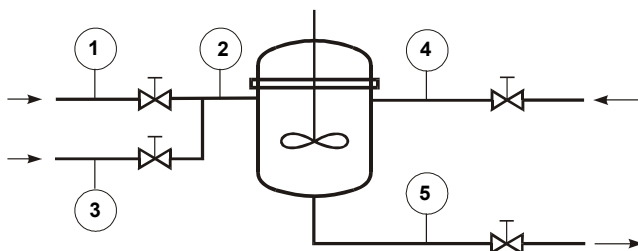


- Do technologického schématu zakreslete pomocí značek:
1. Regulace a zápis tlaku topné páry.
 2. Měření a zápis teploty odpařovaného roztoku v odparce.
 3. Regulace podtlaku v prostoru odparky.
 4. Signalizace horní a dolní úrovně hladiny kapaliny v odparce.
 5. Regulace koncentrace (hustoty) zahuštěného roztoku.
 6. Měření proteklého množství kondenzátu.

4

Označování měřících a řídicích obvodů v technologických schématech

Na obrázku je schéma průtočného směšovacího míchaného reaktoru.

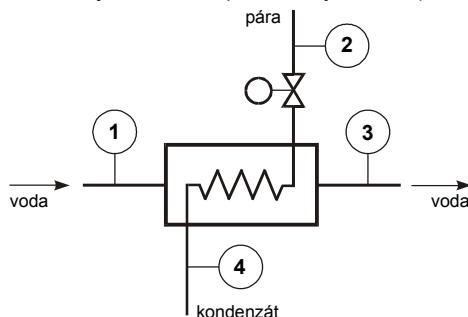


1. Vyznačte, do kterého místa (1, 2, 3, 4, 5) se umístí snímač koncentrace, podle něhož se bude regulovat složení produktu ve směšovací nádobě.
2. Napište písmenný kód, který bude ve značce tohoto snímače.

5

Označování měřících a řídicích obvodů v technologických schématech

Na obrázku je schéma tepelného výměníku (ohřev vody topnou párou).



1. Vyznačte, do kterého místa (1, 2, 3, 4) se umístí snímač teploty, podle něhož se bude regulovat a zapisovat teplota ohřívání vody.
2. Napište písmenný kód, který bude ve značce tohoto snímače.
3. Která veličina bude veličinou akční?
4. Do schématu zakreslete propojení snímače a akčního členu.

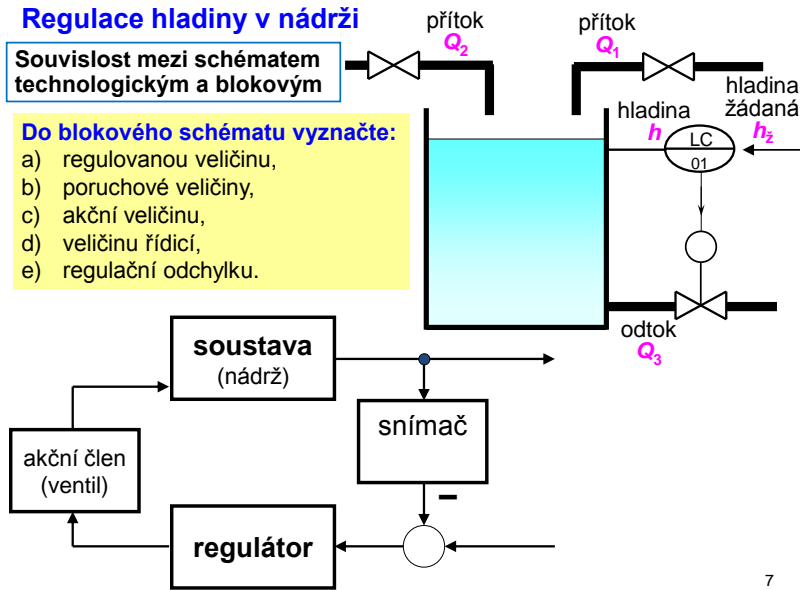
6

Regulace hladiny v nádrži

Souvislost mezi schématem technologickým a blokovým

Do blokového schématu vyznačte:

- a) regulovanou veličinu,
- b) poruchové veličiny,
- c) akční veličinu,
- d) veličinu řídicí,
- e) regulační odchylku.

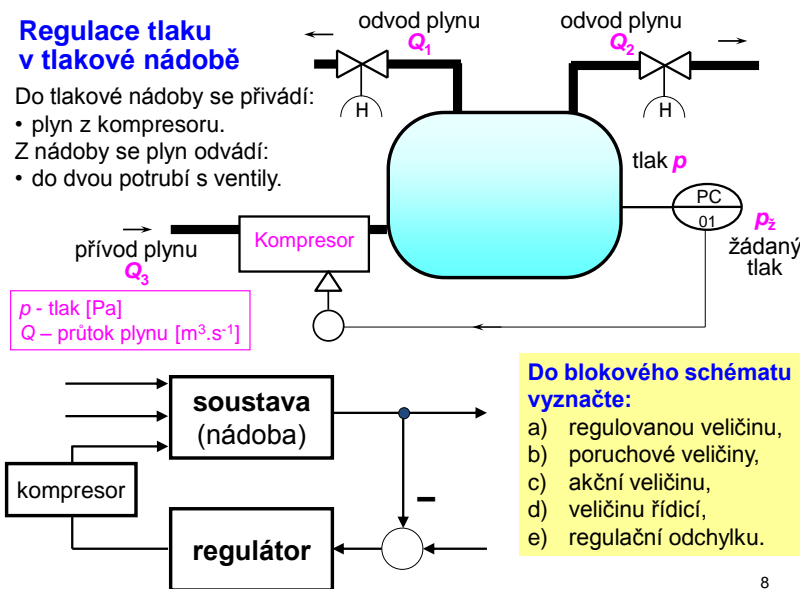


7

Regulace tlaku v tlakové nádobě

Do tlakové nádoby se přivádí:

- plyn z kompresoru.
- Z nádoby se plyn odvádí:
- do dvou potrubí s ventily.



Do blokového schématu vyznačte:

- a) regulovanou veličinu,
- b) poruchové veličiny,
- c) akční veličinu,
- d) veličinu řídicí,
- e) regulační odchylku.

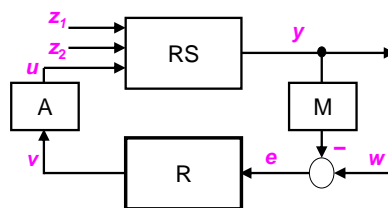
8

Chování regulačního obvodu

- závisí na vlastnostech jednotlivých bloků

Regulační pochod

- představuje dynamické chování celého obvodu



Řešení regulačních úkolů

- **na základě zkušenosti (empiricky)**
 - vhodné jen pro jednoduché regulační obvody
- **na základě matematicko-fyzikální analýzy**
 - vytvoření matematického modelu
 - možnosti simulace na počítači
 - ekonomicky výhodné

9

Analýza regulačního obvodu

Popis vlastností jednotlivých bloků

- **statické vlastnosti**
- **dynamické vlastnosti**

Ustálený stav a přechodový děj

- **Ustálený stav**
 - vstupní a výstupní veličiny jsou ustálené (časově neproměnné)
- **Přechodový děj**
 - změna vstupní veličiny vyvolá změnu výstupní veličiny
 - výstupní veličina se mění s časem

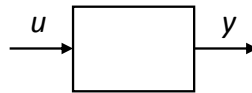
10

Statické vlastnosti

- popisují systém v ustáleném stavu
- vyjadřují závislost výstupní veličiny na vstupní veličině v ustáleném stavu

Popis statických vlastností:

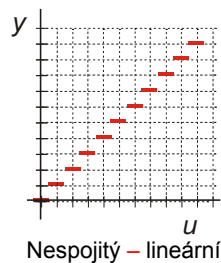
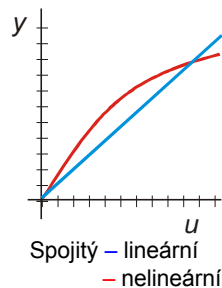
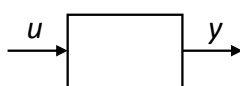
- $y = f(u)$ pro $t \rightarrow \infty$
- grafickým znázorněním je **statická charakteristika** (charakteristická křivka)



11

Průběh statické charakteristiky:

- lineární
- nelineární
- spojitý
- nespojitý



Příklady:

- závislost napětí na odporu na procházejícím proudu (lineární průběh, spojitý)
- závislost teploty pece na příkonu topení (nelineární průběh, spojitý)
- závislost výstupního údaje číslicového voltmetru na měřeném napětí (lineární průběh, nespojitý)

12

Zjišťování statických vlastností:

- **teoreticky**
 - z matematického popisu
- **experimentálně**
 - stanovením hodnot konstant pro teoretický popis
 - proměřením závislosti výstupní veličiny na vstupní

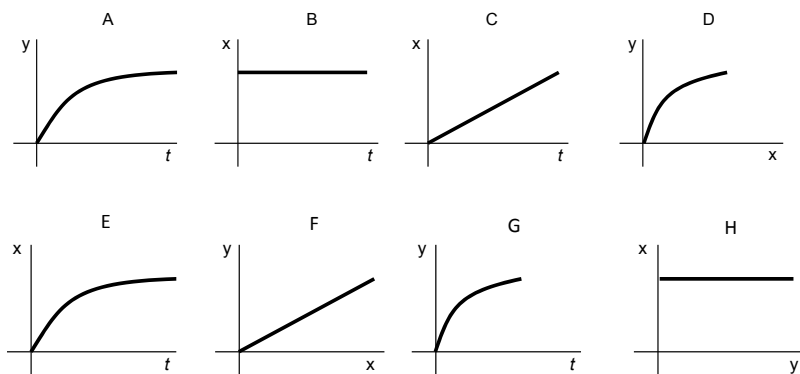
Příklady:

- závislost napětí na odporu na procházejícím proudu
(teoreticky z Ohmova zákona)
- závislost teploty v peci na příkonu topení
(experimentální proměření)
- závislost tlaku v zásobníku na výkonu kompresoru
(experimentální proměření)
- závislost průtoku v potrubí na otevření ventilu
(experimentální proměření)

13

Statická charakteristika - příklad

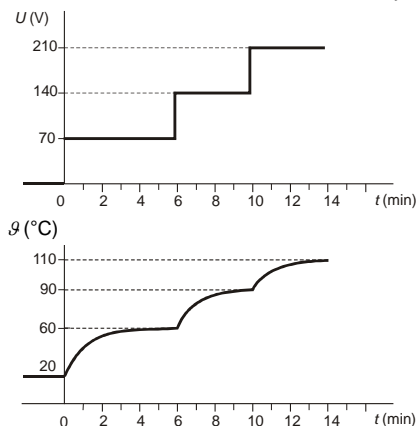
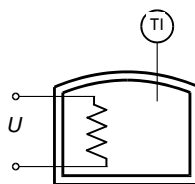
Označte, které grafy znázorňují statickou charakteristiku soustavy, když x je vstupní, y výstupní veličina a t je čas.



14

Statická charakteristika - příklad

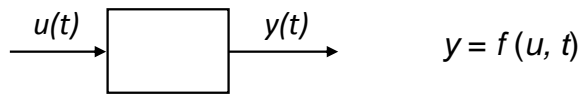
Na obrázku je schéma elektricky vyhřívané sušárny. Při změně napětí na elektrickém topení se změní elektrický příkon a po proběhnutí přechodového děje se teplota ustálí na nové hodnotě (viz graf). Na základě naměřených hodnot nakreslete statickou charakteristiku soustavy.



15

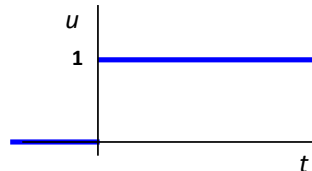
Dynamické vlastnosti

- popisují chování systému v průběhu přechodového děje
- **výstupní veličina** je tedy nejen funkcí vstupní veličiny, ale i **funkcí času**



- při vyšetřování závislosti $y(t)$ musí být změna vstupní veličiny $u(t)$ **přesně definována**
- nejčastěji se jako testovací vstupní signál používá **jednotkový skok**

- **jednotkový skok: $1(t)$**
 pro $t < 0$ $u(t) = 0$
 pro $t \geq 0$ $u(t) = 1$



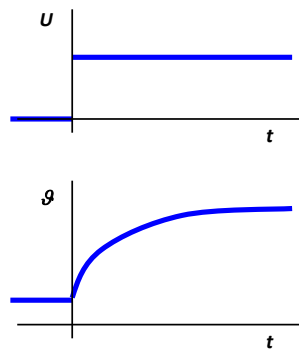
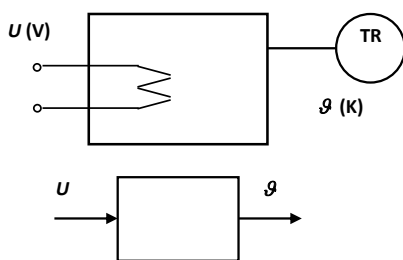
16

Zjištění přechodové charakteristiky:

- **experimentálně** - proměřením odezvy na jednotkový skok
- **výpočtem** - řešením diferenciální rovnice
- **simulací** na počítači

Experimentální zjištění PCH:

Příklad:
elektricky vyhřívaná sušárna



17

Klasifikace regulovaných soustav

Podle matematického popisu

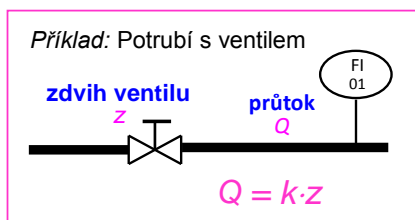
- podle řádu diferenciální rovnice soustavy

Soustavy 0. řádu

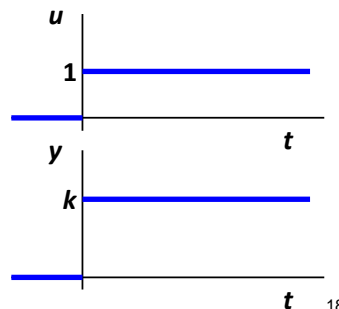
- chování popsáno algebraickou rovnicí

$$y(t) = k \cdot u(t)$$

k - zesílení soustavy



Přechodová charakteristika:



18

Soustavy 1. řádu

- chování popsáno diferenciální rovnicí 1. řádu

Statická soustava 1. řádu

$$s_1 \cdot y'(t) + s_0 \cdot y(t) = b_0 \cdot u(t) \quad y(0) = 0$$

$$\frac{s_1}{s_0} \cdot y'(t) + y(t) = \frac{b_0}{s_0} \cdot u(t)$$

Normovaný tvar rovnice:

$$T \cdot y'(t) + y(t) = k \cdot u(t)$$

T - časová konstanta

k - zesílení soustavy

19

Dynamické chování statické soustavy 1. řádu

$$T \cdot y'(t) + y(t) = k \cdot u(t) \quad y(0) = 0$$

Přechodová funkce:

$$y(t) = k \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

$$u(t) = \mathbf{1}(t)$$

Přechodová charakteristika:

y pro $t \rightarrow \infty$:

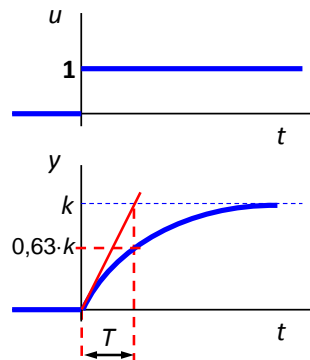
$$y \rightarrow k \quad k = \frac{y}{u} \text{ pro } t \rightarrow \infty$$

y pro $t = T$:

$$y = k \cdot (1 - e^{-1}) = 0,632 \cdot k$$

y pro $t = 5T$:

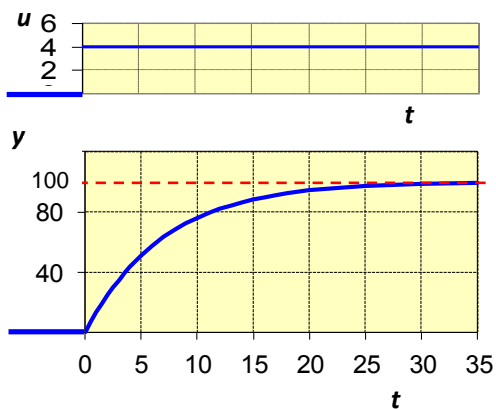
$$y = k \cdot (1 - e^{-5}) = 0,993 \cdot k$$



20

Vyhodnocení PCH 1. řádu - příklad

Jako odezva na skokovou změna byla naměřena přechodová charakteristika:

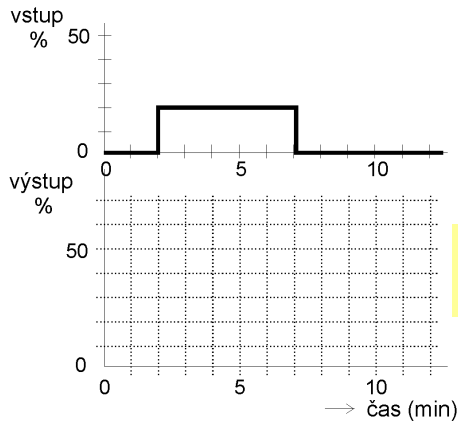


Z naměřené PCH zjistěte:

- zesílení soustavy,
- časovou konstantu,
- napište diferenciální rovnici soustavy

21

Odezva soustavy 1. řádu - příklad



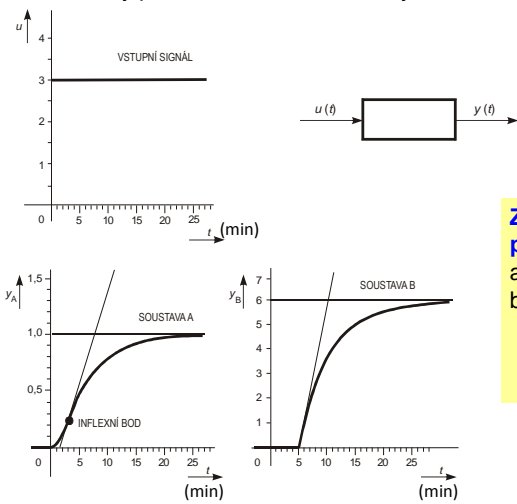
- Parametry soustavy 1. řádu:
- zesílení $k = 3$,
 - časová konstanta $T = 1$ min.

Do obrázku zakreslete odezvu soustavy 1. řádu s danými parametry na daný vstupní signál.

22

Soustavy vyššího řádu a soustavy s dopravním zpožděním - příklad

Jako odezva na skokovou změna byly pro soustavy A a B naměřeny přechodové charakteristiky:

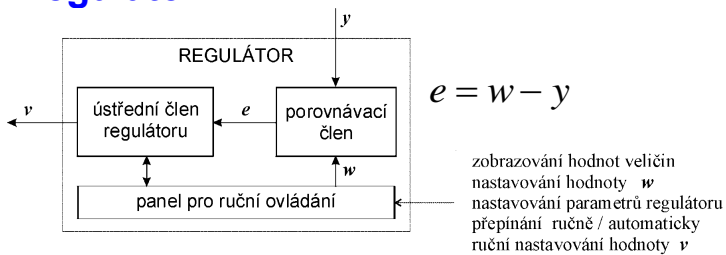


Z naměřené PCH zjistěte pokud je to možné:

- zesílení soustavy A a B,
- časovou konstantu nebo dobu průtahu a náběhu, případně dopravní zpoždění.

23

Regulátor:



$$v = r_0 \cdot e(t) + r_{-1} \cdot \int_0^T e(t) \cdot dt + r_1 \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

P I D

$$v = r_0 \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^T e(t) \cdot dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right]$$

PID regulátor s interakcí

24

PID:
$$v = r_0 \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \cdot \int_0^T e(t) \cdot dt + T_d \cdot \frac{de(t)}{dt} \right]$$

Proporcionální složka P, - určuje reakci regulátoru na velikost regulační odchylky; pracuje s trvalou regulační odchylkou.
 r_0 je **proporcionální konstanta (zesílení) regulátoru**,

Pásmo proporcionality pp: $pp = \frac{1}{r_0} \cdot 100$

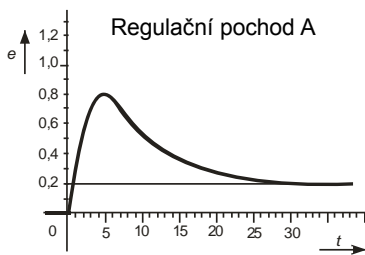
Integrační složka I, - určuje reakci regulátoru na dobu trvání regulační odchylky; odstraňuje regulační odchylku.
 T_i je **integrační časová konstanta regulátoru**,

Derivační složka D, - určuje reakci regulátoru na rychlost změny regulační odchylky; zrychluje regulační pochod.
 T_d je **derivační časová konstanta regulátoru**.

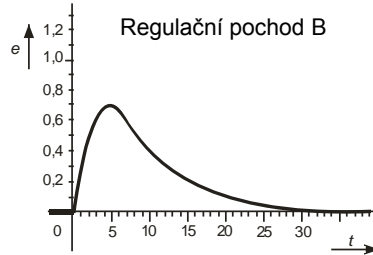
25

Průběh regulace - příklad

Průběhy dvou regulačních pochodů (závislost regulační odchylky e na čase) v důsledku působení poruchy z jsou znázorněny na obrázcích.



Označte typ regulátoru, který řídí regulační pochod A:
 a) PID-regulátor
 b) PI- regulátor
 c) P- regulátor

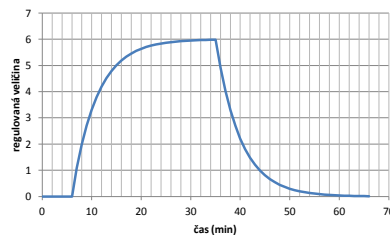
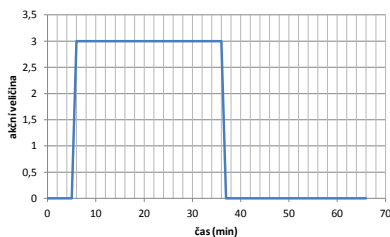


Označte typ regulátoru, který řídí regulační pochod B:
 a) PD-regulátor
 b) PI- regulátor
 c) P- regulátor

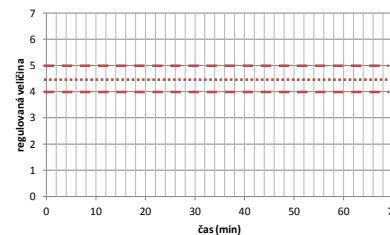
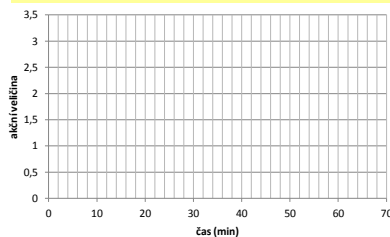
26

Průběh dvupolohové regulace - příklad

Změny akční veličiny a odezva soustavy



Dokreslete průběh dvupolohové regulace



Vyznačte předpokládaný průběh regulované a akční veličiny, jestliže žádaná hodnota je 4,5 a hystereze ± 0,5.

27

Odkazy:

- <http://www.vscht.cz/ufmt/> (elektronické pomůcky)
- <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/MRT>