

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI  
Fakulta mechatroniky a mezioborových inženýrských studií



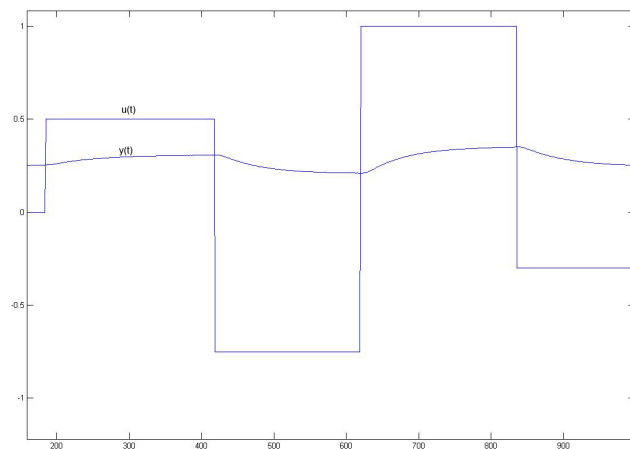
## Řízení teploty proudícího vzduchu

Liberec 2008

Martin Blížkovský, Viktor Bubla

## Naměřená data

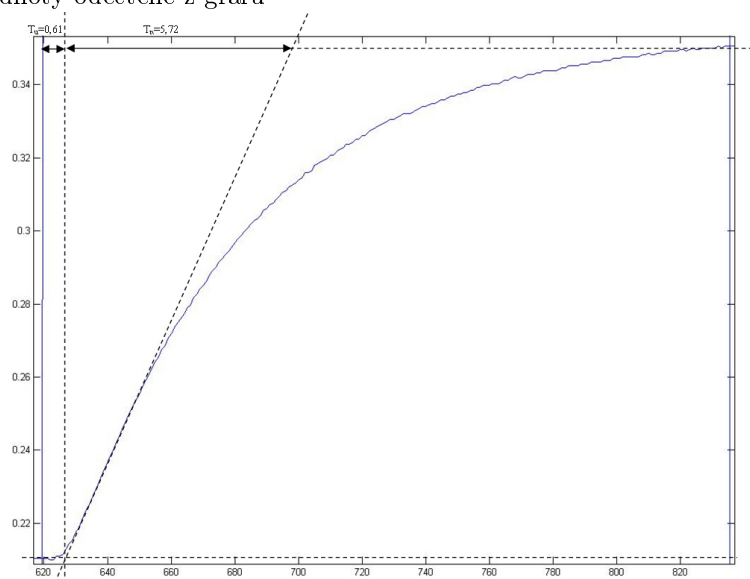
Na následujícím grafu je zobrazena proměnná  $u$  a proměnná  $y$ .



$u$  jsme manuálně nastavovali výkon do topné spirály a  $y$  odpovídá teplotě vzduchu měřeného pomocí teplotního čidla umístěného před ústím ohříváče.

## Strejcova metoda

Hodnoty odečtené z grafu



$$T_U = 0,61$$

$$T_N = 5,72$$

$$\tau_U = \frac{T_U}{T_N} = 0,107$$

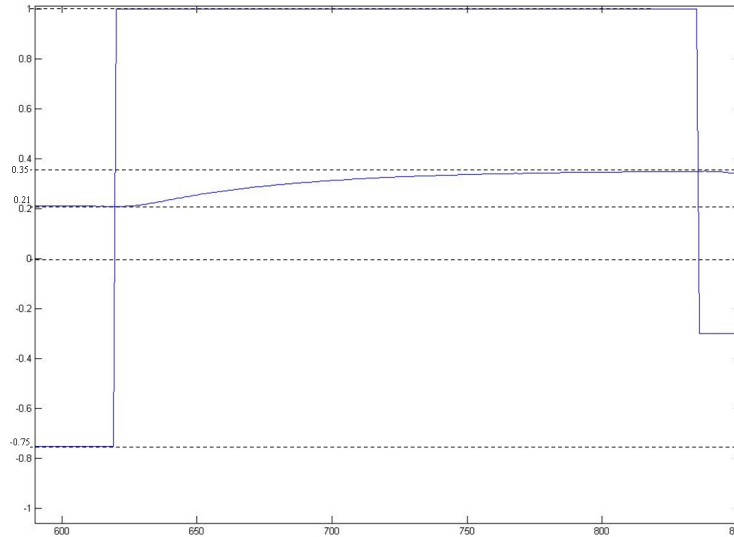
$$t_i = 1,82$$

Soustava je tedy druhého řádu a budeme ji počítat bez dopravního zpoždění.

Z tabulky vyčteme poměry  $T_U/T = 0,282$  a  $T_N/T = 2,718$ , odkud vypočítáme  $T$  a společně s hodnotou určenou pomocí  $t_i$  ze vztahu  $T = t_i/(n - 1)$  vypočteme  $T$  jako vážený aritmetický průměr.

$$T = 2,071s$$

Statické zesílení určíme z hodnot  $\Delta u$  a  $\Delta y$  odečtených z grafu



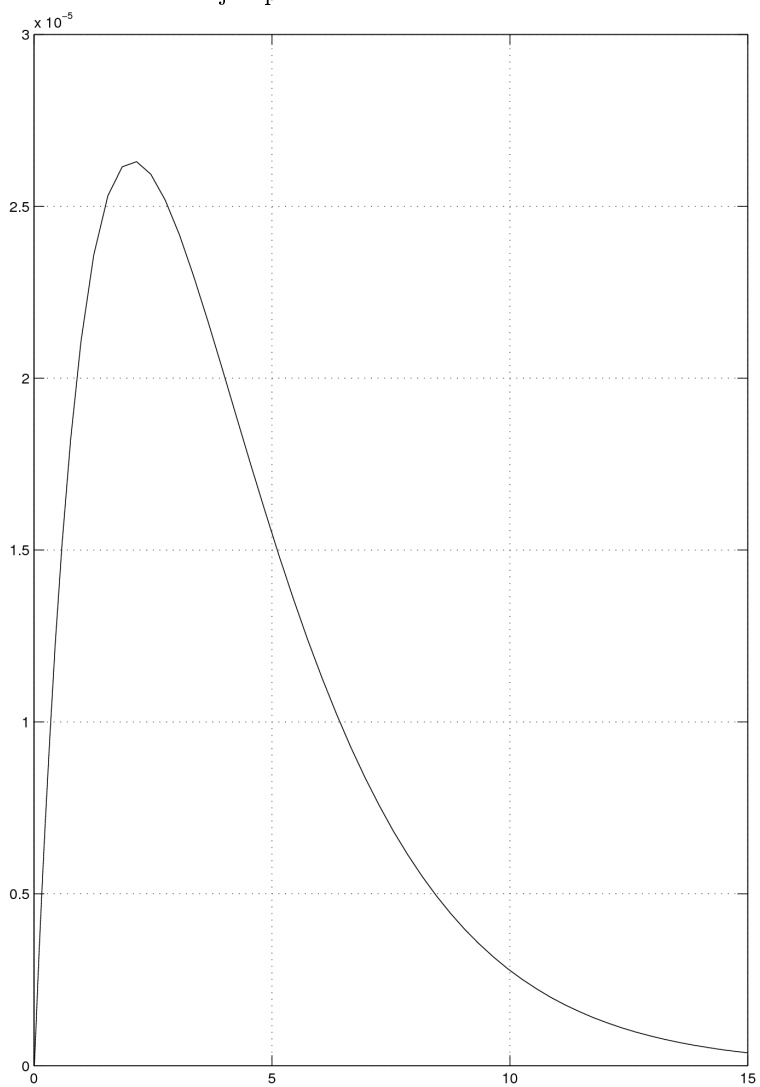
$$K = \frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{0,35 - 0,21}{1 - (-0,75)} = 0,08$$

Určili jsme obrazový přenos soustavy

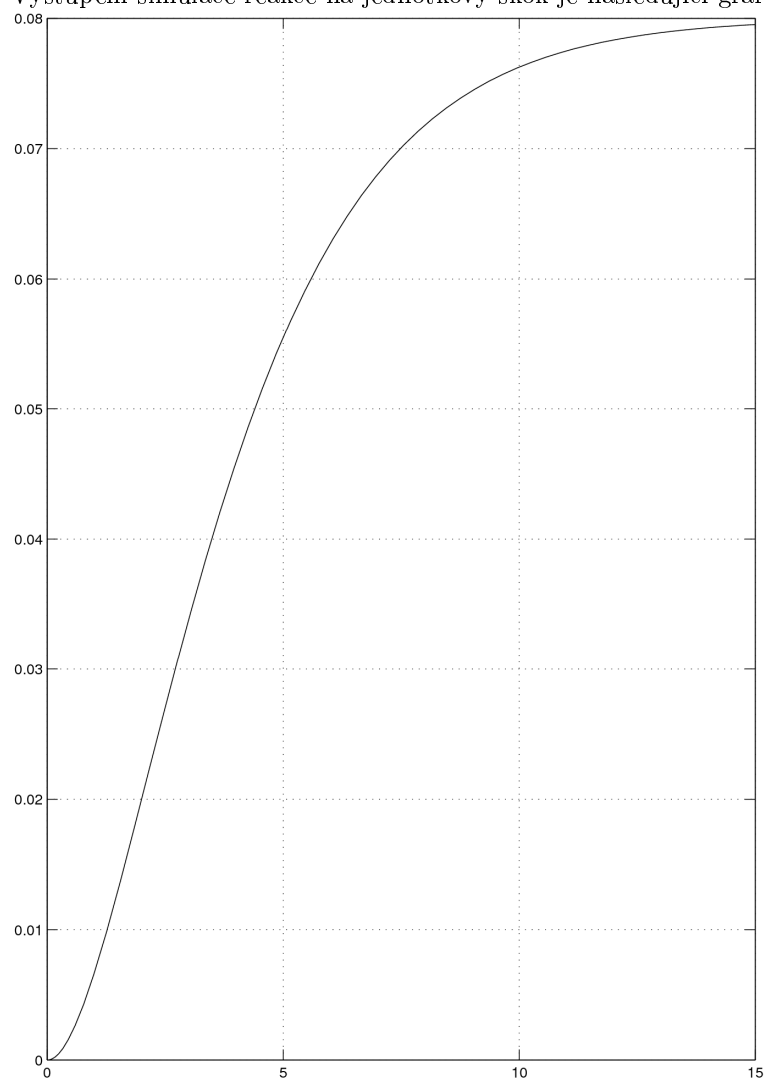
$$F = \frac{K}{(Ts + 1)^n} = \frac{0,08}{4,289 \cdot s^2 + 4,142 \cdot s + 1}$$

### Simulované charakteristiky

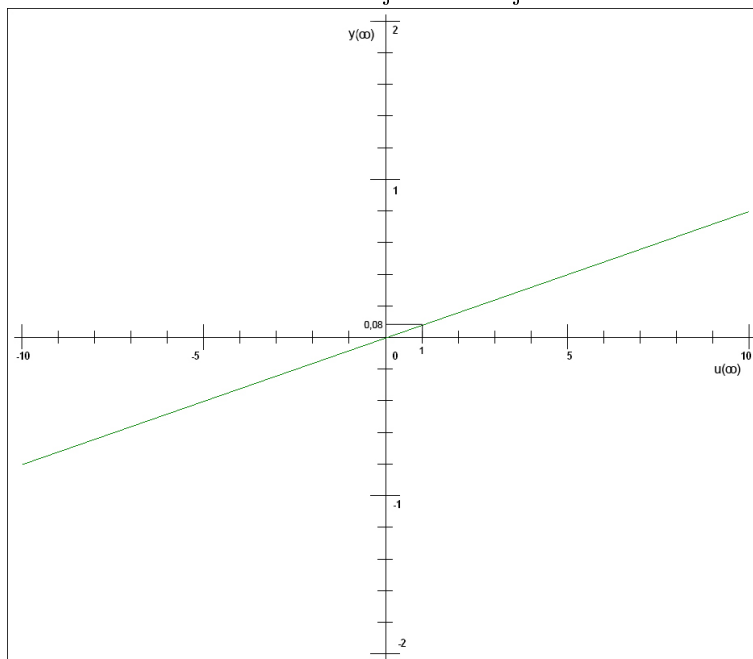
Pokud bychom naši soustavu vybudili diracovým impulsem, jeho odezva by dle simulace měla následující podobu



Výstupem simulace reakce na jednotkový skok je následující graf



Dle určeného statického zesílení jsme sestrojili statickou charakteristiku



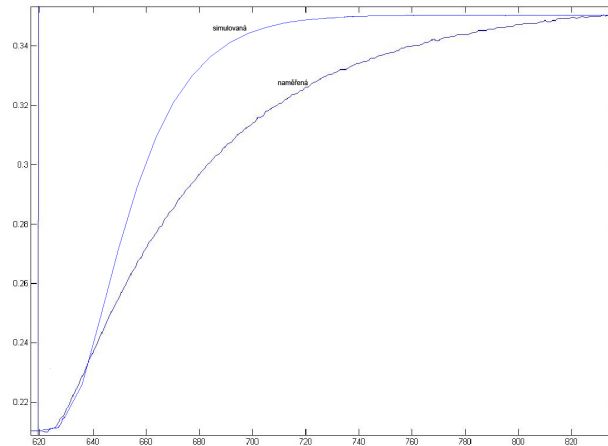
### Laplaceova transformace

Pomocí L. T. jsme převedli obrazový přenos získaný strejcovou metodou na analytickou funkci

$$F = \frac{K}{(Ts + 1)^n} = \frac{0,08}{(2,071 \cdot s + 1)^2}$$

$$F = \frac{K}{(s + a)^n} \quad \div \quad K \cdot \frac{1}{(n-1)!} \cdot t^{n-1} \cdot e^{at} \cdot \eta(t) = 0,08 \cdot t \cdot e^t \cdot \eta(t)$$

V následujícím grafu jsou společně zakresleny naměřený průběh teploty soustavy a průběh simulovaný v Matlabu



### Buzení harmonickým signálem

Soustavu jsme budili sinusovým signálem s nulovou počáteční fází, úhlovou frekvencí  $\omega = 0,05 \text{ rad/s}$  a amplitudou 1. Při tomto buzení byl přenos soustavy

$$A = \frac{y}{u} = \frac{0,079}{1} = 0,079$$

což můžeme v  $dB$  vyjádřit jako přenos

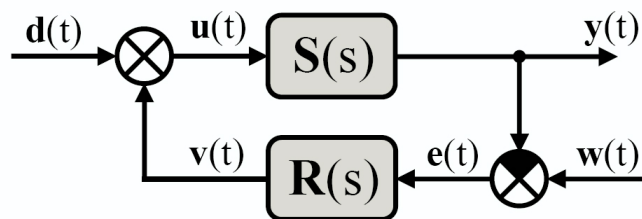
$$A_{dB} = 20 \cdot \log A = -22 \text{ dB}$$

Odečetli jsme fázový posun

$$\phi = \frac{2 \cdot \pi \cdot 4}{84} = 0,3 \text{ rad}$$

### Vyšetření stability

Standardní regulační obvod



Vycházeli jsme z přenosu

$$\begin{aligned}
 F_{ew} &= \frac{1}{1 + R \cdot S} = \\
 &= \frac{1}{1 + \left(r_0 + \frac{r_1}{s}\right) \cdot \left(\frac{0,08}{4,289 \cdot s^2 + 4,142 \cdot s + 1}\right)} = \\
 &= \frac{4289 \cdot s^3 + 4142 \cdot s^2 + 1000 \cdot s}{4289 \cdot s^3 + 4142 \cdot s^2 + (80 \cdot r_0 + 1000) \cdot s + 80 \cdot r_1}
 \end{aligned}$$

Odkud jsme vytvořili Hurwitzovu matici

$$H = \begin{bmatrix} 4142 & 80 \cdot r_1 & 0 \\ 4289 & 80 \cdot r_0 + 1000 & 0 \\ 0 & 4142 & 80 \cdot r_1 \end{bmatrix}$$

A její determinanty jsme dále prověřovali

$$H_1 = 4142$$

$$H_2 = \begin{vmatrix} 4142 & 80 \cdot r_1 \\ 4289 & 80 \cdot r_0 + 1000 \end{vmatrix} = 4142(80 \cdot r_0 + 1000) - 343120 \cdot r_1$$

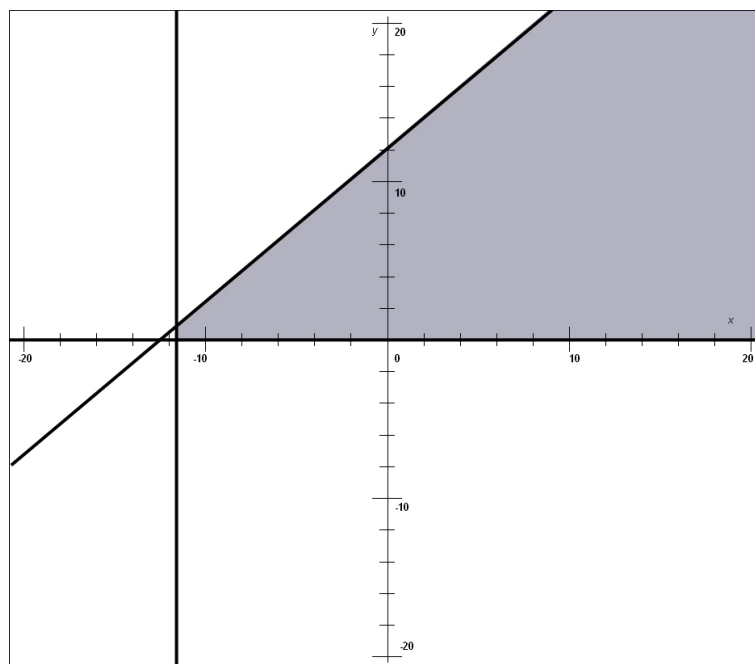
$$H_3 = \begin{vmatrix} 4142 & 80 \cdot r_1 & 0 \\ 4289 & 80 \cdot r_0 + 1000 & 0 \\ 0 & 4142 & 80 \cdot r_1 \end{vmatrix} = 331360(80 \cdot r_0 + 1000) \cdot r_1 - 27449600 \cdot r_1^2$$

Výsledkem našeho snažení je několik nerovnic, které nám říkají, v jakých mezích můžeme nastavit PI regulátor

$$\begin{aligned}
 r_0 &> -12,5 \\
 r_1 &> 0 \\
 r_1 &< 0,96 \cdot r_0 + 12,1
 \end{aligned}$$

Vynesením do grafu získáme grafické znázornění této oblasti stability





### Vyhodnocení

Co se samotného měření týka, vše proběhlo bez problému. Zpracování výsledků však vyvolává řadu otázek a pochybností. Zejména odečítání hodnot z grafu je achylovou patou celého našeho snažení, v němž vzniklé chyby se dále projevují ve všech dalších výpočtech a simulacích. Vzhledem k tomu, že toto měření je pro nás něčím novým a nemáme s ním předchozí praktické zkušenosti, nemůžeme vypočtené hodnoty porovnat s empiricky odhadnutými a tedy jen těžko se můžeme orientovat ve správnosti či nesprávnosti dosažených výsledků.