

# 9 - Zpětná vazba



Michael Šebek  
Automatické řízení 2016

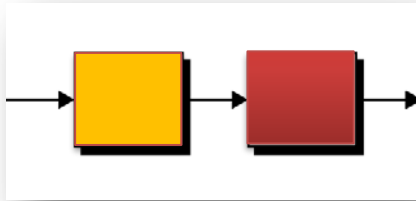


- Řídicí systém musí zajistit **stabilitu** a **chování**
- **Klasické požadavky** na chování
  - přípustná ustálená regulační odchylka při konstantním poruchovém signálu: **asymptot. regulace, potlačení poruchy**
  - přípustná ustálená odchylka sledování polynomiálního referenčního signálu (skok, rampa): **asymptotické sledování**
  - **přípustné dynamické chování** (dobu náběhu, překmit apod.) na skokový referenční a/nebo poruchový signál
  - **přípustná citlivost systému** na změny parametrů modelu
- **Moderní a postmoderní požadavky**
  - potlačení šumu
  - chování optimální (v nějakém daném smyslu)
  - robustní stabilitu (stabilitu při velkých změnách parametrů)
  - robustní chování (při velkých změnách parametrů)



# Dopředná nebo zpětná?

## Vazba přímá, dopředná



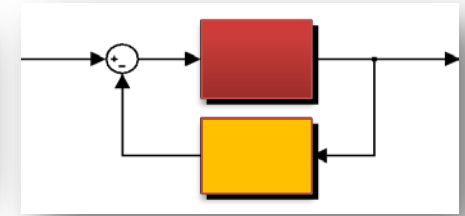
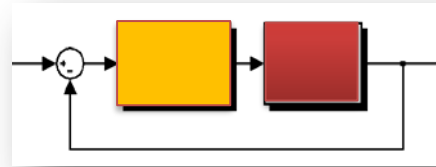
### Výhody

- jednoduchá a levnější
- nepotřebuje senzor
- nemůže destabilizovat pokud je sama stabilní

### Nevýhody

- nekompensuje vliv poruchy ani neurčitosti modelu
- nemůže stabilizovat nestabilní soustavu

## Vazba zpětná



### Výhody

- kompenzuje vliv poruchy a neurčitosti modelu
- dokáže stabilizovat
- zlepšuje přechodové a ustálené chování

### Nevýhody

- složitější a dražší: potřebuje senzor, složitější návrh
- může ohrozit stabilitu



# Zpětná vazba je důležitější než sex ?

Automatické řízení - Kybernetika a robotika

The image displays two screenshots of a Microsoft Internet Explorer browser window showing Google search results. The top window is titled "feedback - Vyhledat Googlem - Microsoft Internet Explorer" and shows a search for "feedback". The search results indicate "Výsledky 1 - 10 z a 3 040 000 000" results. A red circle highlights the search term "feedback" in the search bar, and another red circle highlights the number "3 040 000 000". A red arrow points from the year "2006" to the search results. The bottom window is titled "sex - Vyhledat Googlem - Microsoft Internet Explorer" and shows a search for "sex". The search results indicate "Výsledky 1 - 10 z a 802 000 000" results. A red circle highlights the search term "sex" in the search bar, and another red circle highlights the number "802 000 000". A red arrow points from the year "2006" to the search results.

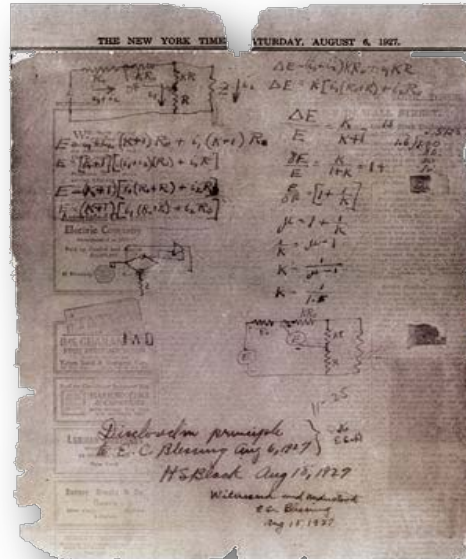
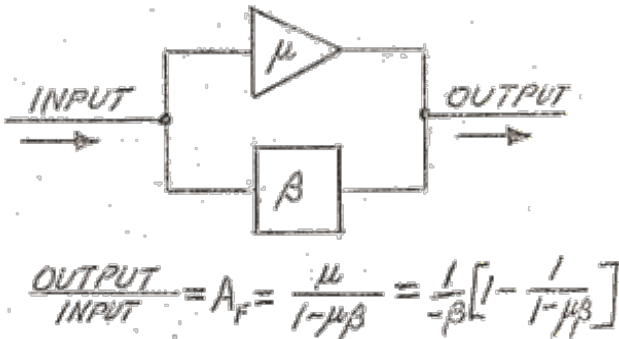


# Harold Stephen Black: ZV zesilovač 1927

Automatické řízení - Kybernetika a robotika



H. S. Black v Bell Labs se zesilovačem, založeným na jeho principu záporné zpětné vazby



Stránka New York Times z 1. srpna 1927, na kterou si Black poznamenal rovnice a schéma popisující zpětnovazební zesilovač. Myšlenku, která mu bleskla hlavou, když jel do práce přívozem přes řeku Hudson.

U.S. Patent 2,102,671

Harold S. Black

Wave Translation System

Application filed in 1932

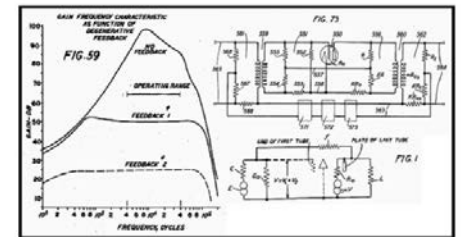
Patent issued to Bell Labs in 1937

Any electrical engineer who has ever designed an amplifier or active filter around an operating has made use of the fundamental principle of negative ("degenerative") feedback. Harold Black taught this principle in exhaustive detail in his 1937 patent, taking 35 drawing sheets and 52 pages to tell the story. The patent discusses complex effects of feedback on impedance, gain, stability, and "wave shaping" (filtering).

Fortunately for the analog engineers among us, this fundamental patent and its 126 claims expired in 1954. Now we are free to take advantage of Black's discoveries that "distortion can be reduced in any amplifying system by use of negative feedback," and "the stability of operation of an amplifier can be greatly improved by the use of negative feedback."

The following is the text of claim 20, one of the 113 independent claims of this patent:

A wave amplifying system having input and output and a feedback path from said output to said input whereby a closed wave propagation path is provided including an amplifier, the wave propagation constant for said closed path having a modulus substantially greater than unity for the frequencies of waves to be amplified by the system.



Edwin A. Suominen, Registered Patent Agent  
ELECTRICAL ENGINEERING PATENTS  
RF • DSP • Communications • Electronics • Software

www.eepatents.com



# Naivní řízení pomocí inverze

- Ideální regulátor – inverze soustavy

$$y = f\langle u \rangle + d$$

$$u = f^{-1}\langle r - d \rangle \quad \rightarrow \quad y = r + 0d$$

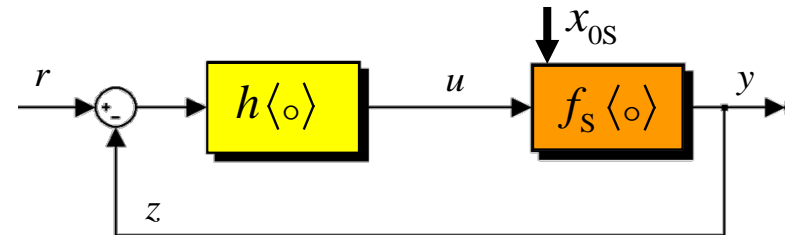
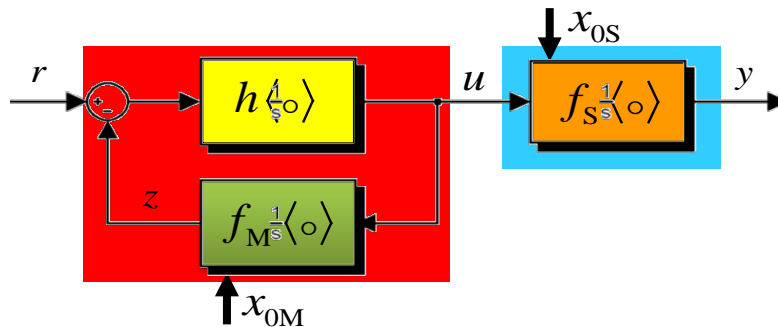
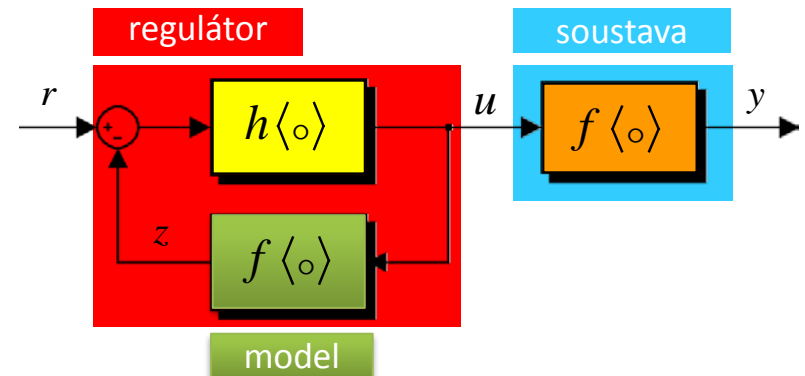
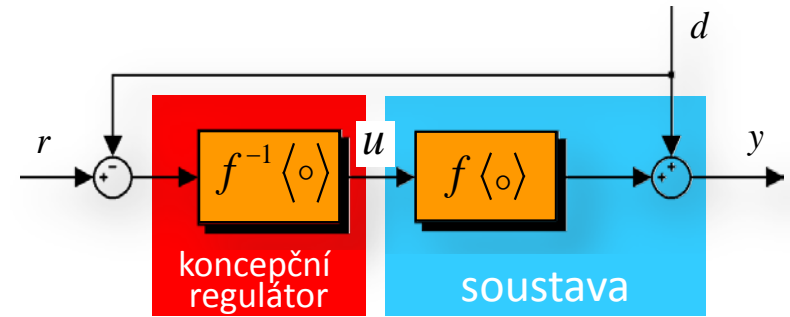
- Proč to většinou nefunguje?
- Inverze pomocí ZV v regulátoru a velkého zesílení

$$u = h\langle r - f\langle u \rangle \rangle$$

$$u = f^{-1}\langle r - h^{-1}\langle u \rangle \rangle$$

$$h \gg 1 \rightarrow u = f^{-1}\langle r \rangle$$

- Lepší, ale? Jak ještě vylepšit?





# Jednoduchý návrh pro soustavu 1. řádu

## Požadavek No. 1: Stabilita

- Výsledný systém musí být stabilní, s rozumnou „rezervou“ (neurčitost, ...)

## Požadavek No. 2: Chování (hlavní důvod řízení)

- Specifikujeme různě ve frekvenční nebo časové oblasti
- V časové oblasti: požadavky na přechodový jev a na ustálený stav

## Návrh pro soustavu 1. řádu (pomalá, nestabilní...)

$$G(s) = \frac{b}{s + b}$$

- Jak zajistit stabilitu a požadované  $T(T_r, T_s)$  ?  
ZV řízením posuneme pól do jiné polohy, která splní požadavky

$$F(s) = \frac{\bullet}{s + a}$$

- Jak zajistit požadovaný přenos?  
ZV+PV řízením posuneme pól a nastavíme DC zesílení

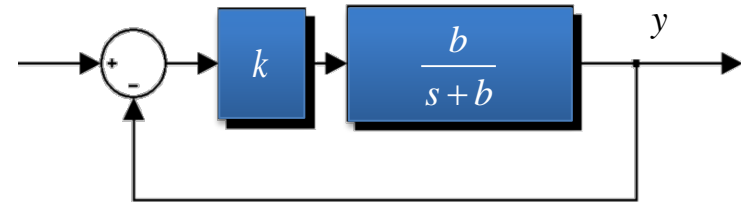
$$H(s) = \frac{a}{s + a}$$



# Posunutí pólu pro systém 1. řádu

Soustava s přenosem  $G(s) = b/(s + b)$  má pól v  $-b$

- tento pól můžeme posunout do požadované hodnoty  $-a < -b$
- jednoduchým ZV řízením



Navrhne ho buď metodou RL a nebo výpočtem:

- CL charakteristický polynom je  $c(s) = (s + b) + bk = s + (b + bk)$
- stačí tedy položit  $a = b + bk$  a vypočítat  $k$

- pro

$$k = \frac{a - b}{b}$$

$$c(s) = s + a$$

je totiž výsledný charakteristický polynom roven požadovanému

- výsledný CL přenos je přitom

$$T(s) = \frac{kb}{s + (b + bk)} = \frac{a - b}{s + a}$$

- pokud chceme dostat jiný čítenel, musíme metodu modifikovat

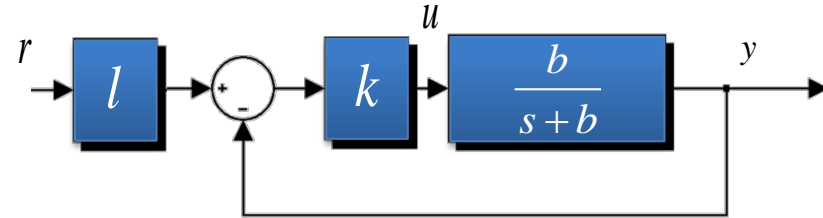




# Změna přenosu pro systém 1. řádu

- Chtějme víc: Změnit přenos soustavy

$$\frac{b}{s+b} \rightarrow \frac{a}{s+a}$$



- K tomu potřebujeme přidat FF
- CL přenos je teď

$$T(s) = \frac{klb}{s + (b + bk)}$$

- pokud jako minule vezmeme

$$k = \frac{a-b}{b}$$

- dostaneme

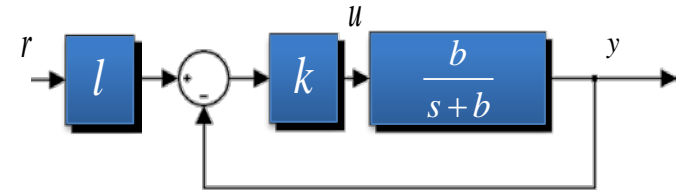
$$T(s) = \frac{l(a-b)}{s+a}$$

- aby byl čitatel  $l(a-b) = a$ , musíme vzít

$$l = \frac{a}{(a-b)}$$



- Zadání jsme splnili, ale je to opravdu tak jednoduché?
- Můžeme soustavu zrychlovat tj. pól posouvat libovolně?
- Podívejme se na vstup do soustavy (akční zásah):



$$u(s) = \frac{T(s)}{G(s)} r(s) = \frac{a}{b} \frac{s+b}{s+a} r(s)$$

- Nyní v čase: Vstupní signál má na počátku vysokou špičku:

$$u_{0^+} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{a}{b} \frac{s+b}{s+a} \frac{1}{s} s = \frac{a}{b}$$

$$u_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{a}{b} \frac{s+b}{s+a} \frac{1}{s} s = 1$$

- Obecně platí, že čím dále posuneme pól, tím bude špička vstupu větší, až přestane platit lineární model

**Poučení: Póly nesmíme posouvat moc daleko od původních poloh**



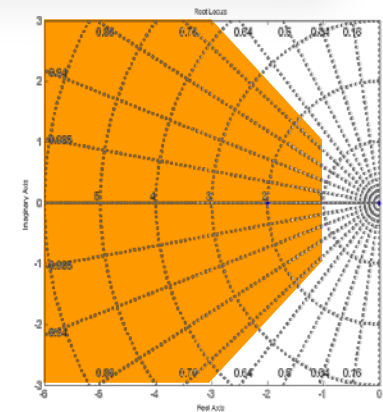
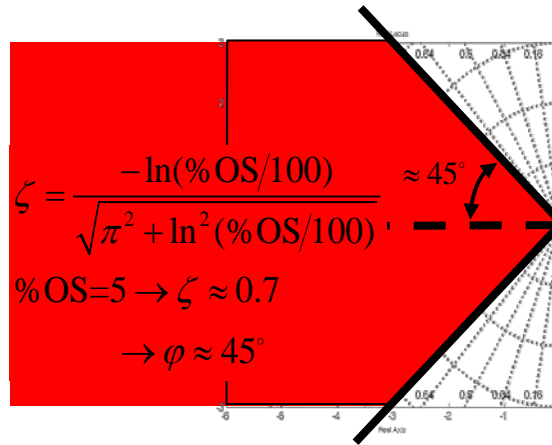
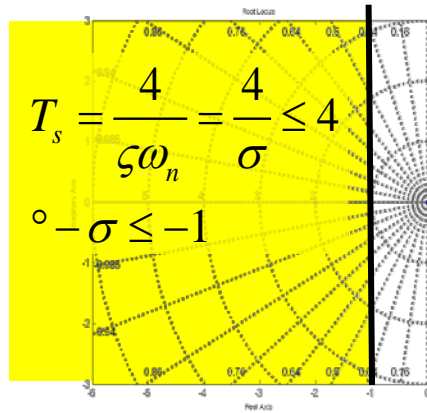
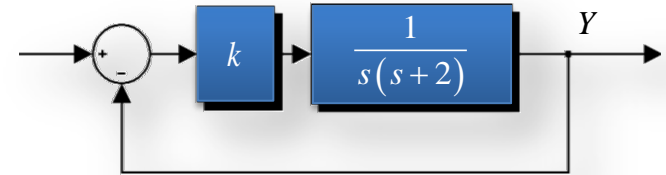
Při návrhu řízení pro soustavu 2. řádu dle časových specifikací postupujeme principiálně stejně jako u soustavy 1. řádu:

- Z daných specifikací vypočteme požadovanou polohu pólů uzavřené smyčky pomocí vzorečků pro 2. řád - jiné nemáme
- Najdeme regulátor, který tuto polohu „zajistí“ tím, že (aspoň přibližně) posune stávající póly soustavy do požadovaných poloh
- Pokud se tím vytvoří systém vyššího řádu nebo systém s nulami, tak přesně vzato, vzorečky neplatí (a neměli jsme právo je používat)
- Jsou-li přidané póly/nuly nedominantní, je přesto návrh OK
- Nejsou-li, pak se výsledný systém obvykle chová jinak a musíme použít jiný návrh, přidat FF člen, ...
- Výsledný návrh raději vždy ověříme simulacemi



# Příklad - 2. řád

- Navrhněte  $k$  tak, aby  $T_s \leq 4s$  a  $OS\% \leq 5\%$



- RL

