

Základy kybernetiky

M. Schlegel

schlegel@kky.zcu.cz

ZČU v Plzni,

únor, 2002

Obsah

- 1. Co je to kybernetika ? - Historická exkurze. Budoucnost.
- 2. Systémy, informace, zpětná vazba, stabilita.
- 3. Lineární systémy - základní pojmy.
- 4. Elementy lineární teorie řízení - identifikace, návrh regulátoru.
- 5. Inteligentní řízení - fuzzy regulace, genetické algoritmy.
- 6. Počítačová podpora a automatizace návrhu řídicích systémů.
- 7. Příklady průmyslových řídicích systémů.

Následuje pět přednášek z umělé inteligence. (Prof. J. Psutka)

Literatura

Principia Cybernetica Web

Kotek Z. : Kybernetika. SNTL Praha, 1990.

Schlegel M. : Přednášky ZKY a doplňující texty,
www.kky.zcu.cz

1. Co je to kybernetika ?

- Héraklitos z Efesu (500 př. K.): Jedno je moudré: vědět, že důmysl všechno řídí skrze vše.
- N. Wiener (1948): Kybernetika je věda o řízení a sdělování v živých organizmech a strojích.
- W.R. Ashby (1956): Kybernetika je nauka o strojích. Nezabývá se však komponentami stroje, ale způsobem jeho chování. Studuje stroje (systémy) otevřené k energii, ale uzavřené vzhledem k informaci.
- M.T.Bateson (1998): Kybernetika z nás dělá básníky, protože nabízí abstraktní jazyk k tvorbě metafor.

Stručný filozofický slovník (1955)

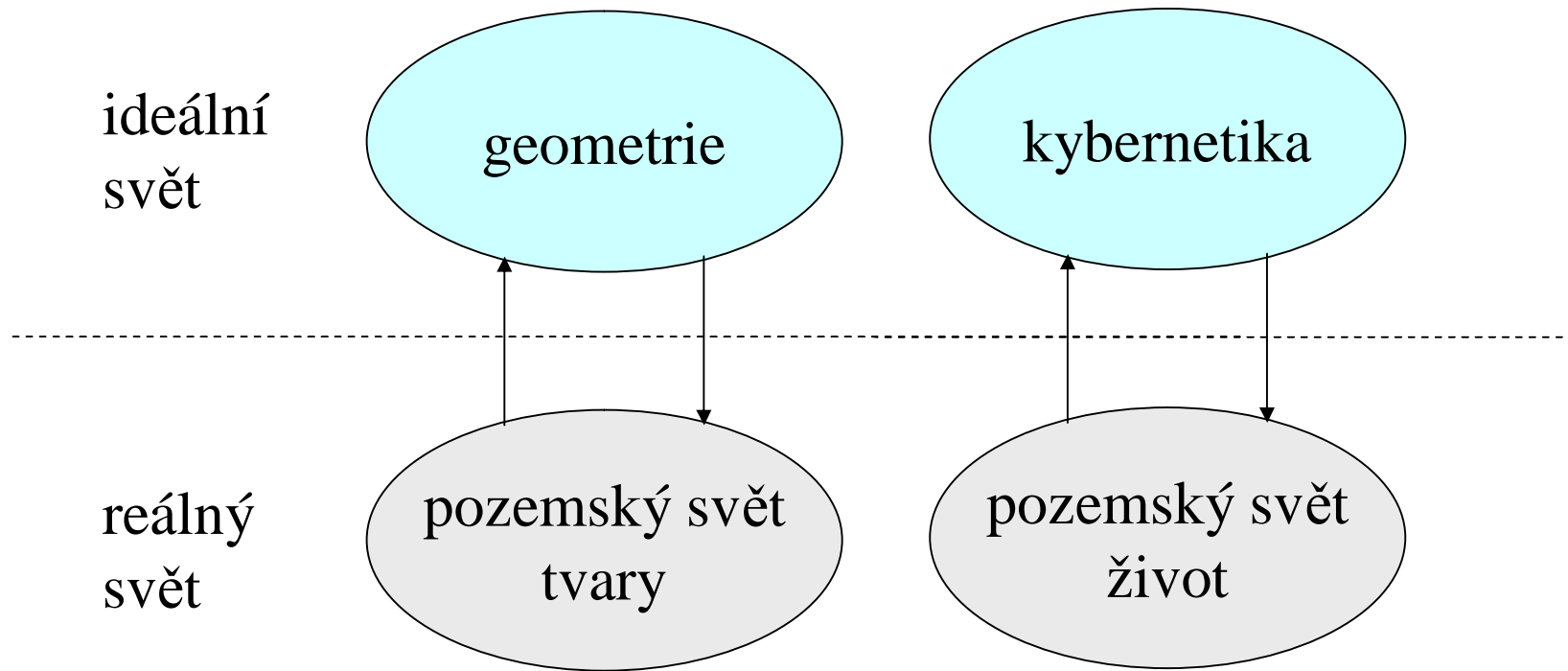
Dobová charakteristika kybernetiky ...

Kybernetika (ze starořeckého slova s významem řídící) - reakční pavěda, která vznikla v USA po druhé světové válce a značně se rozšířila i v jiných kapitalistických zemích. Je to forma soudobého mechanismu Kybernetika jasně vyjadřuje jeden z hlavních rysů buržoazního světového názoru, jeho nelidskost a snahu přeměnit pracující v součástku stroje, ve výrobní nástroj a nástroj války. ... Kybernetika je tedy nejen ideologickou zbraní imperialistické reakce, ale i prostředkem k uskutečňování jejich agresivních válečných plánů.

Předmět kybernetiky je řízení

Každé řízení, nejen bicyklu, lodi nebo firmy, je ovládání či usměrňování něčeho bez vynaložení síly. Pravda, nějaká síla tu musí být, ta však je podstatně menší a zpravidla nezávislá na velikosti, hmotnosti a odporu toho, co je řízeno. Pak onen „důmysl“, který všechno řídí, má-li působit jinak než silou, musí být založen na informaci. S informací je spojeno několik činností: měření, rozpoznání toho, co je relevantní, rozhodnutí co se má dít, sdělení tohoto rozhodnutí tomu, co je řízeno.

Ashby: kybernetika má podobný význam jako geometrie



život = cílevědomé řízení

Historická exkurze

- Otcové kybernetiky
- Řízení parního stroje - Watt, Airy, Maxwell (1868), Vyšněgradský
- Telefonní spojení mezi městy New York a San Francisco, Bell Telephone Laboratory (1915), 3000 mi, šest zesilovačů - Black, Nyquist
- Kompaktní průmyslový regulátor (1930)
- Řízení počítačem (1955)

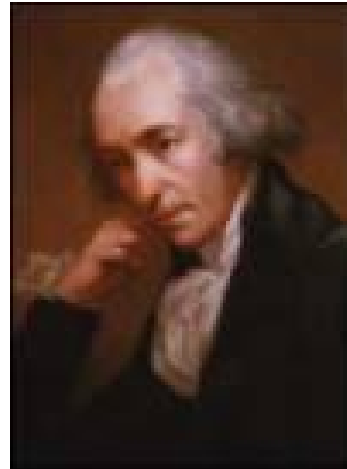
16 až 19-té století



B. Pascal (1623-1662)
Francouzský matematik,
fyzik a filosof. Sestavil
první sečítací stroj



G.W. Leibnitz (1646-1662)
Zasloužil se o rozvoj
matematiky, vytvořil
základy diferenciálního a
integrálního počtu. Sestrojil
stroj, který násobil (1673).



J. Watt (1736-1819)
Konstruktér hodinových
mechanismů a
odstředivého regulátoru
otáček parního stroje.



C. Boole (1815-1864)
Přiřazoval pojmům
myšlení písmena
(proměnné) a tím
redukoval logické
výroky na výpočet.
Vytvořil Boolovu
algebru.



A.M. Turing (1912-1954)
Anglický matematik a logik.
Zabýval se teorií počítačích strojů.

Model nekonečného automatu

Stroj se skládal z děrné pásky, rozdělené na políčka, jednoduchého řadiče a záznamového, mazacího, čtecího a posouvacího zařízení. Operační kód stroje se skládal pouze ze šesti operací:



Posun pásky o 1 políčko doleva



Posun pásky o jedno políčko doprava



Záznam symbolu 0



Záznam symbolu 1



Výmaz zaznamenaného symbolu



Zastavit se

Turing dokázal, že uvedených šest operací stačí k tomu, aby při jejich vhodném uspořádání do posloupnosti příkazů - **programu**, bylo možno vyřešit jakoukoliv algoritmizovatelnou úlohu.



C.E. Shannon (1916-2001)

V roce 1948 publikoval svoji mistrovskou práci „Matematická teorie komunikace“.

Myslím si celé číslo z intervalu $1, \dots, 1024$. Jak velkou informaci musíš získat abys znal toto číslo?
(10 bitů)

Norbert Wiener (1884-1964)



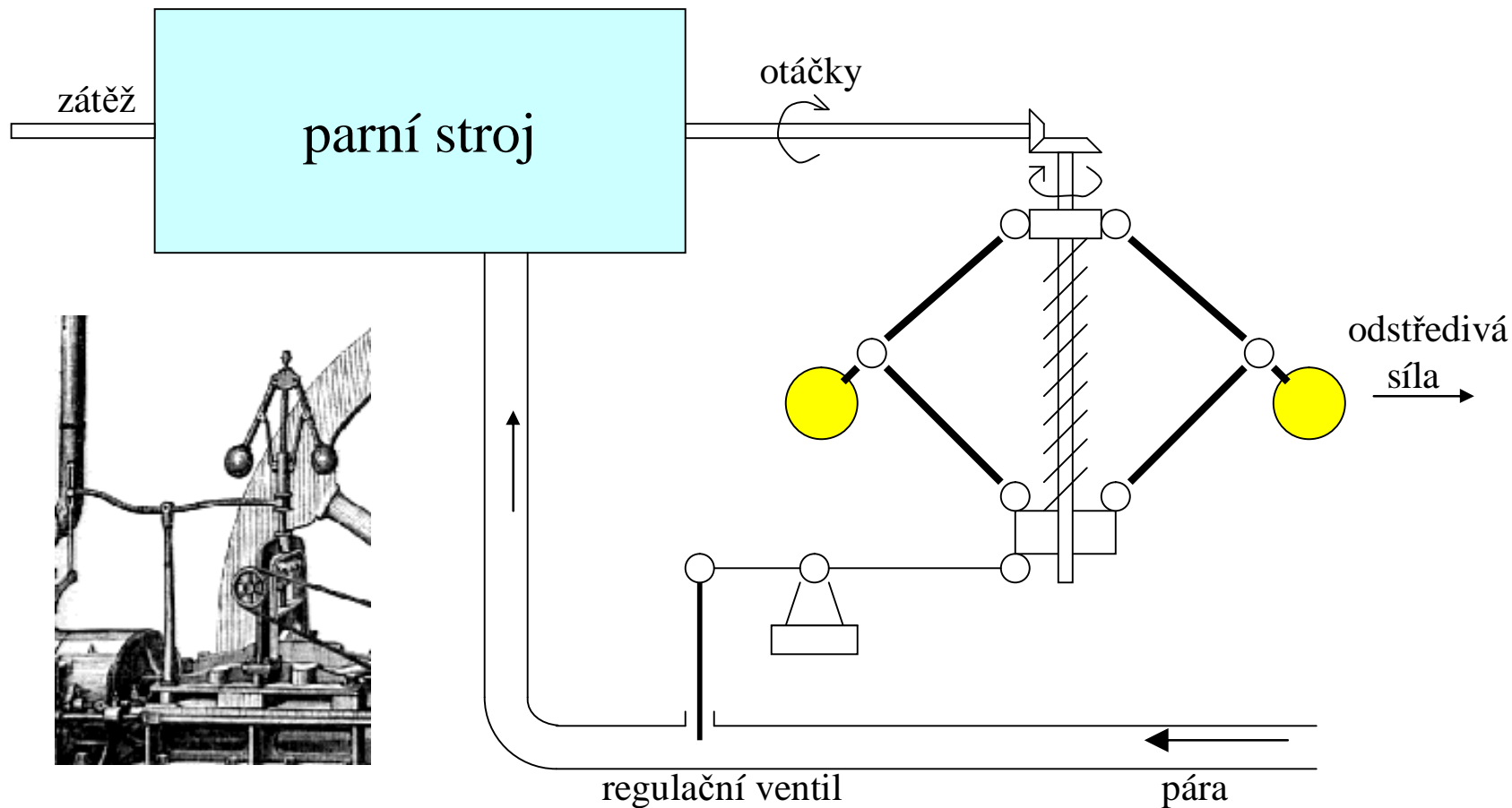
1948 Kybernetika aneb řízení a sdělování v živých organismech a strojích

1950 Kybernetika a společnost

1956 I am mathematician

1963 Nové kapitoly kybernetiky

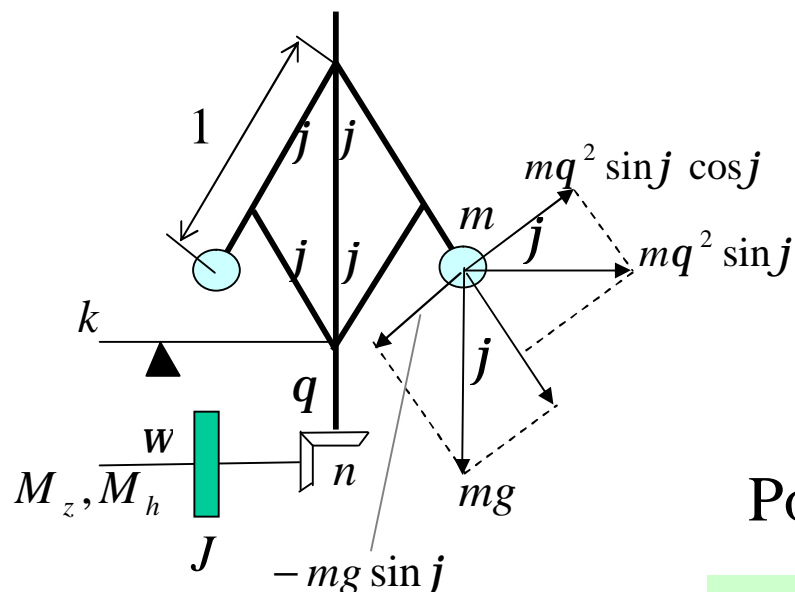
Wattův odstředivý regulátor



Wattův odstředivý regulátor

- Nejstarší odstředivé regulátory pracovaly uspokojivě.
- Vážné problémy nastaly kolem roku 1868: 75 000 regulátorů v Anglii kmitalo!
- Královský astronom Airy (1840, 1851)
- První teoretická práce o zpětné vazbě Maxwell (článek „On governors“, 1868)
- Vyšněgradského analýza (1876)

* Nástin Vyšněgradského analýzy



- M_h hnací moment
 M_z zatěžovací moment
 b koeficient tření
 n převodový poměr
 k koeficient reg. ventilu

Rovnováha vychylujících sil:

$$mq^2 \sin j \cos j - mg \sin j = 0$$

V ustáleném stavu je úhel j určen úhlovou rychlostí otáčení w .

Podmínka dynamické rovnováhy:

$$mj\ddot{\varphi} = mq^2 \sin j \cos j - mg \sin j - bj\dot{\varphi}$$

$$Jw\dot{\varphi} = M_h - M_z$$

$$q = nw$$

$$M_h = M_0 + k(\cos j - \cos j_0)$$

* Nástin Vyšněgradského analýzy

$$m\ddot{y} = mn^2w^2 \sin j \cos j - mg \sin j - b\dot{y},$$

$$J\ddot{\varphi} = k \cos j - F,$$

$$F = M_z + k \cos j - M_0.$$

Položíme-li $y = j\delta$, obdržíme

$$\ddot{y} = \ddot{y},$$

$$\ddot{y} = n^2w^2 \sin j \cos j - g \sin j - \frac{b}{m}\dot{y},$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{k}{J} \cos j - \frac{F}{J}$$

* Literatura

Airy, G. B.: On the regulator of the clockwork for effecting uniform movement of equatorials. Mem. Roy. Astron. Soc., vol.11, pp.249-267, 1840.

Maxwel, J. C.: On overnors. Proc. Roy. Soc. London, vol. 16, pp. 270-283, 1868.

Vyšněgradsky, J. A.: Sur la theorie generale des regulateurs, Comptes Rendus, vol.83. pp. 318-321, 1876.

Obecné teoretické výsledky

Maxwell svým článkem “On Governors” založil teorii automatického řízení:

- Chování zpětnovazebního řídicího systému v blízkosti rovnovážného stavu může být s velkou přesností aproximováno lineární diferenciální rovnicí s konstantními koeficienty.
- Problém stability zpětnovazebního systému může být řešen pomocí polohy kořenů příslušného charakteristického polynomu.

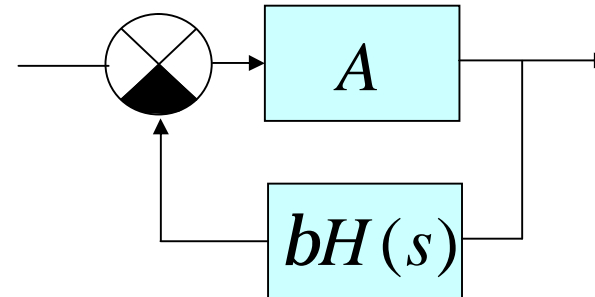
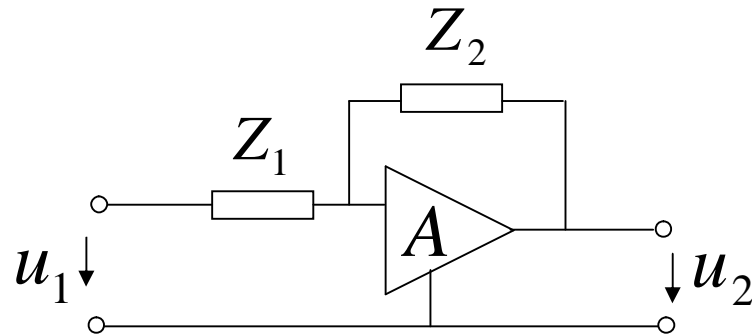
Obecné řešení problému stability lineárních systému bylo obdrženo později Routhem a Hurwitzem.

Vývoj telefonního zesilovače

Pro potřebu dálkového telefonního spojení byl kolem roku 1930 vyvíjen v Bellových laboratořích nový telefonní zesilovač s velkým zesílením a malým zkreslením. Hlavním konstruktérem byl H. Black. Jeho vynález využíval zpětnou vazbu a fungoval téměř uspokojivě až na tendenci k „zpívání“. Zpíval (kmital jako oscilátor) nejen při zvětšení zesílení ve zpětné vazbě, ale též při jeho zmenšení. Na to bylo tehdy pohlíženo jako na něco prapodivného. Své pozorování sdělil mladému kolegovi matematikovi Nyquistovi a ten vymyslel dnes velmi dobře známé Nyquistovo kritérium stability.

Vývoj telefonního zesilovače

Podivný jev, který vedl k objevu Nyquistova kritéria stability.



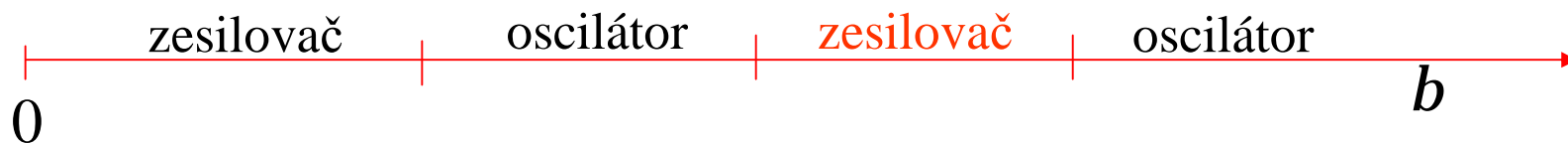
podmínka autooscilací:

$$AbH(j\omega) = -1$$

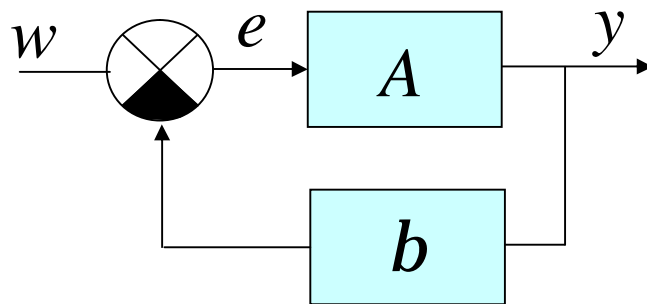
Očekávané chování



Podivné chování Blackova zesilovače



* Elementární vlastnosti zpětnovazební smyčky
s ideálními zesilovači



A, b jsou reálná čísla

$$e = w - by$$

$$y = Ae$$

$$y = A(w - by)$$

$$y = \frac{A}{1 + bA} u$$

Pro $bA \gg 1$

$$y \approx \frac{1}{b} u$$

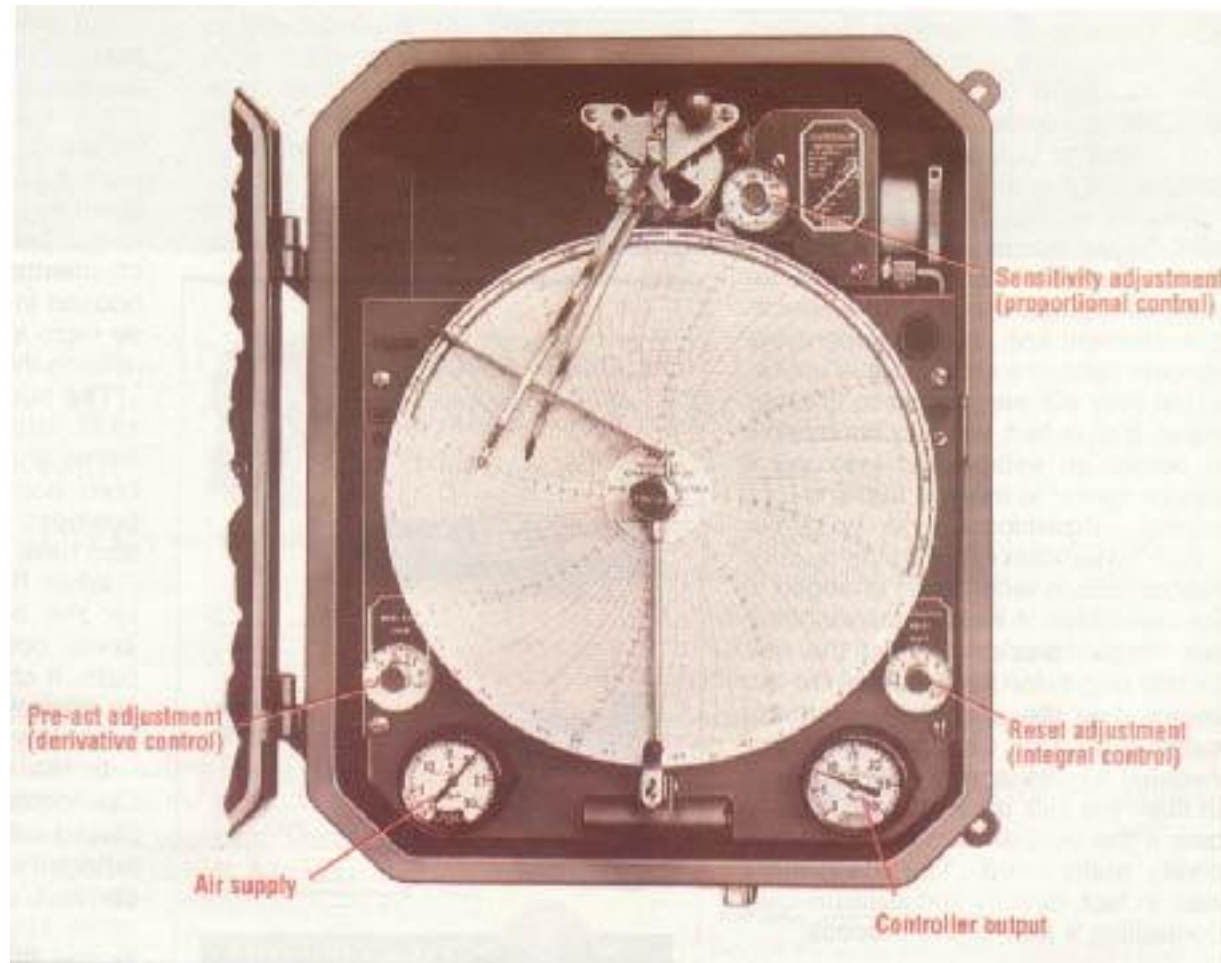
Vztah mezi vstupem a výstupem uzavřené smyčky nezávisí na A .

Pro $bA = -1$

$$y \rightarrow \pm\infty$$

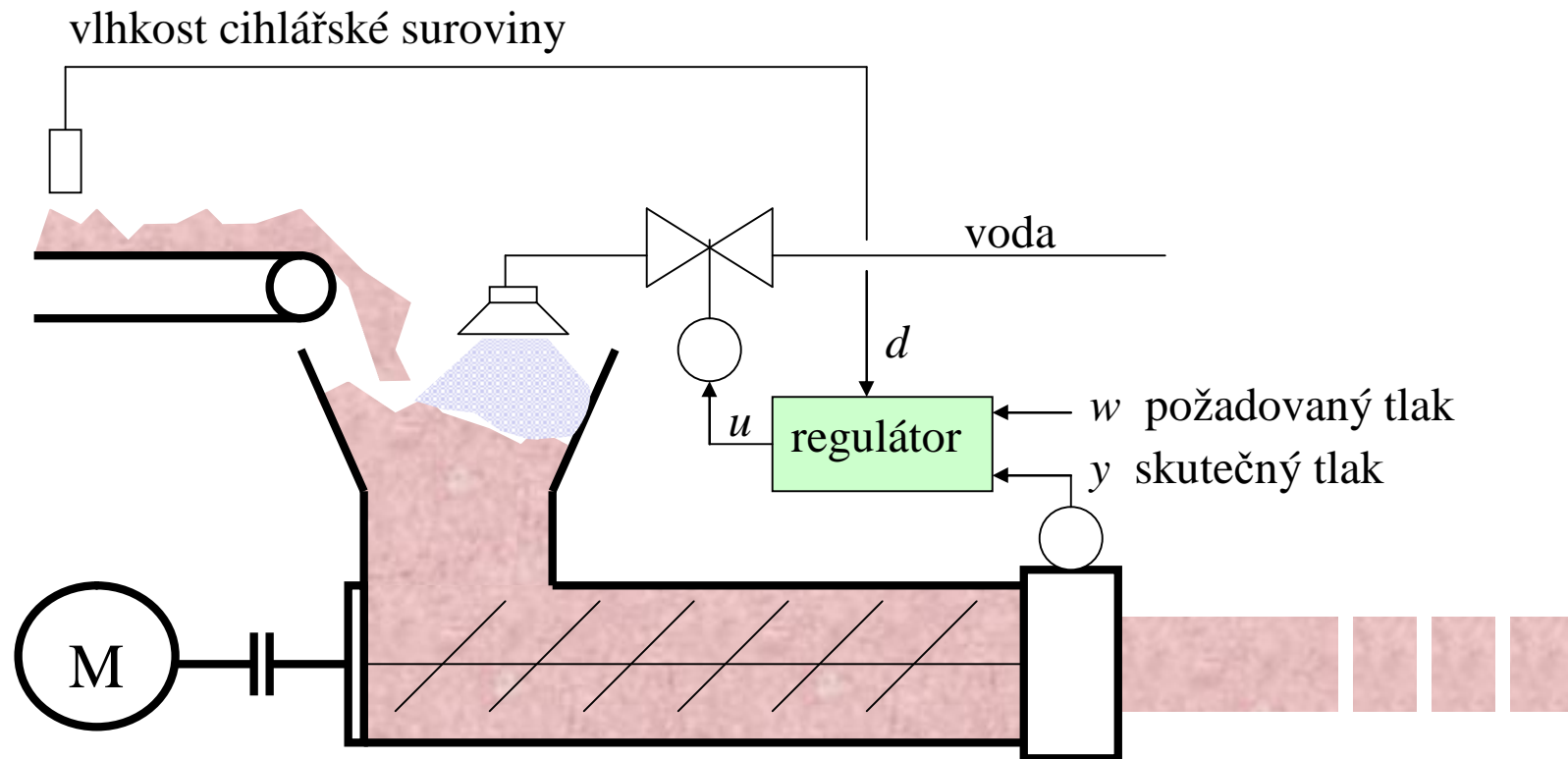
Omezený vstup w vede na neomezený výstup y .

První průmyslový PID regulátor Taylor Instruments (1940)



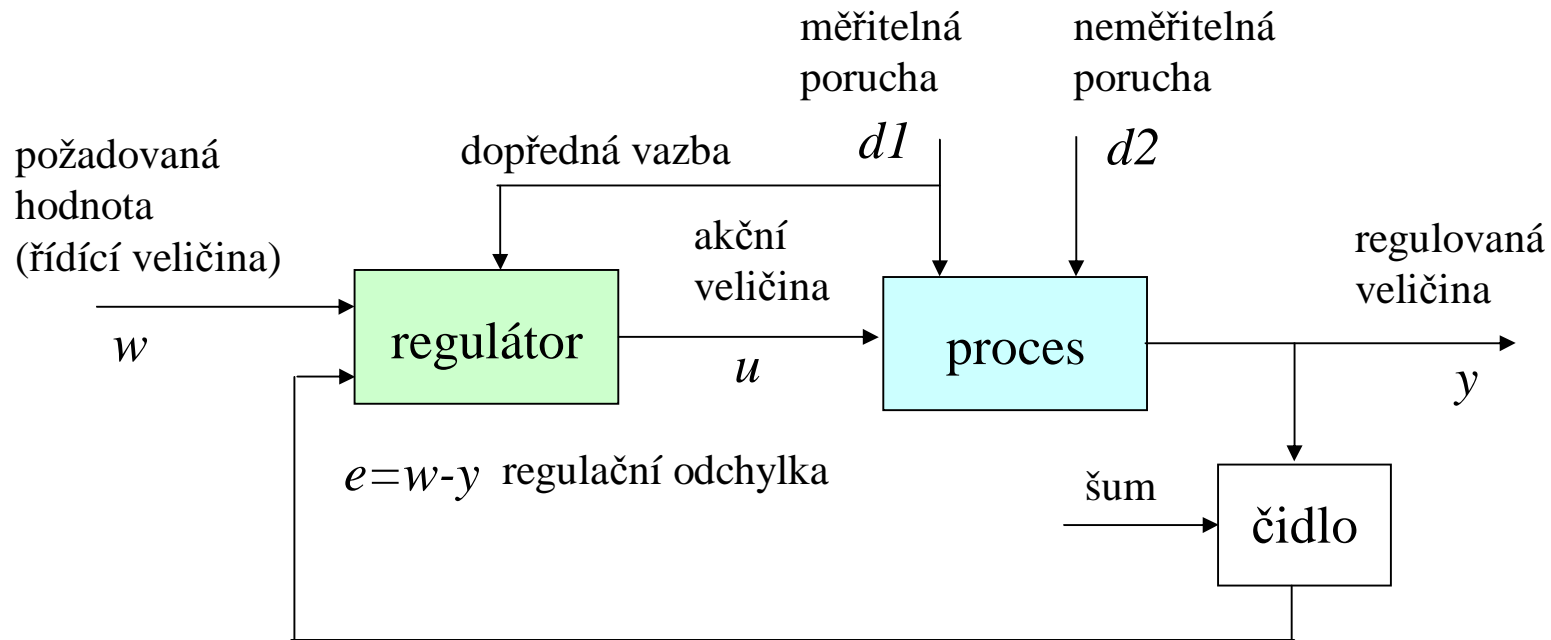
Regulace tlaku v ústí cihlářského lisu

Příklad jednoduchého regulačního obvodu ...



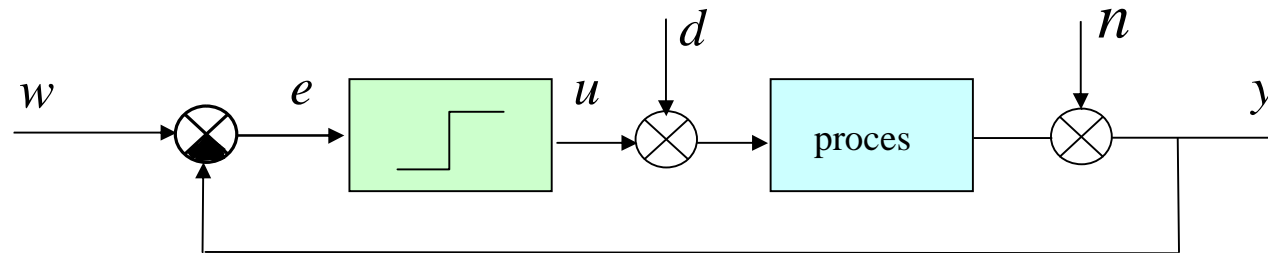
Struktura jednoduchého regulačního obvodu

Jednoduchá regulační smyčka ...

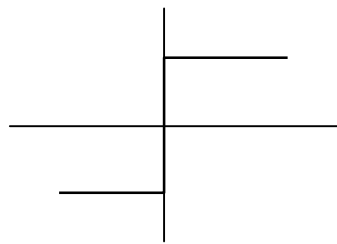


* Dvoustavový nespojitý regulátor

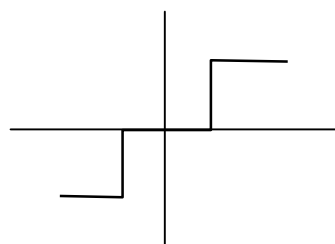
Nejjednodušší, nejrobustnější ...



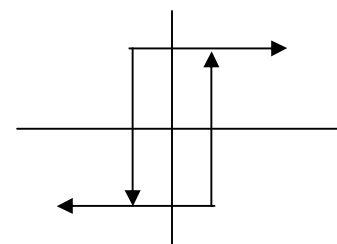
$$u = \begin{cases} u_{\max} & \text{pro } e > 0 \\ u_{\min} & \text{pro } e < 0 \end{cases}$$



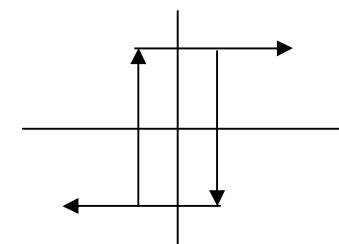
Ideální relé



Relé s necitlivostí



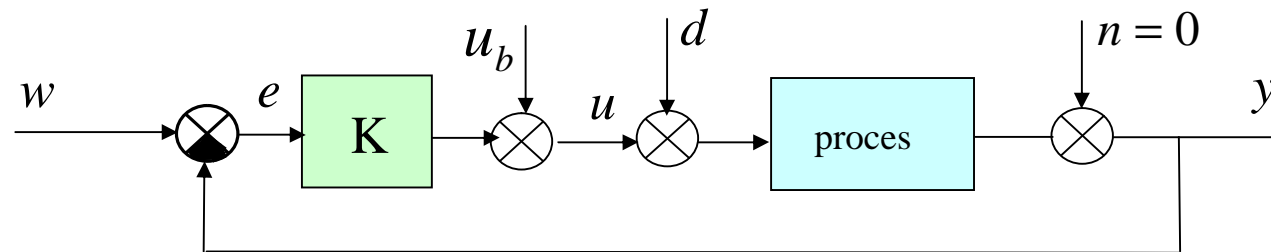
Relé s hysterezí



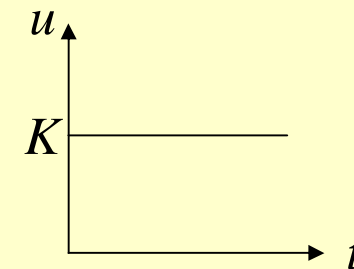
Relé s předstihem

* P - regulátor

Nejjednodušší spojitý regulátor ...



$$u = \begin{cases} u_{\max} & \text{pro } Ke + u_b > u_{\max} \\ Ke + u_b & \text{pro } Ke + u_b \in \langle u_{\min}, u_{\max} \rangle \\ u_{\min} & \text{pro } Ke + u_b < u_{\min} \end{cases}$$

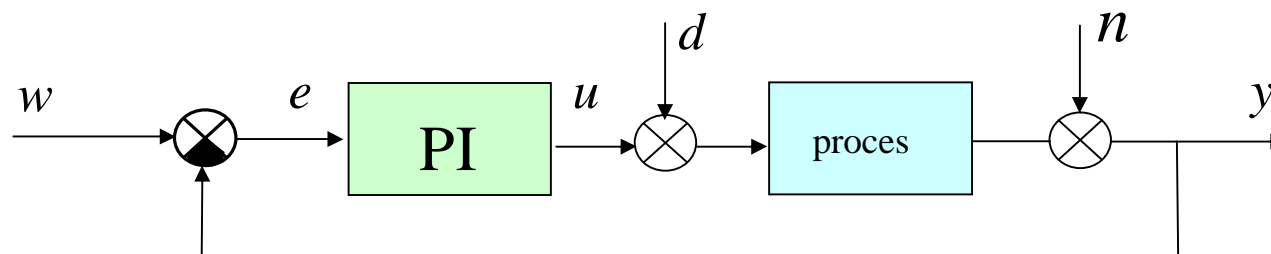


Regulační odchylka v ustáleném stavu je nenulová:

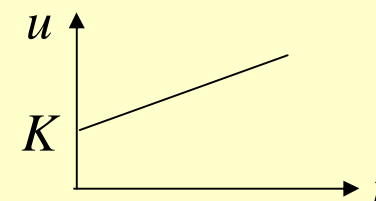
$$e = \frac{1}{1 + KK_0} w - \frac{K_0}{1 + KK_0} (u_b + d)$$

* PI - regulátor

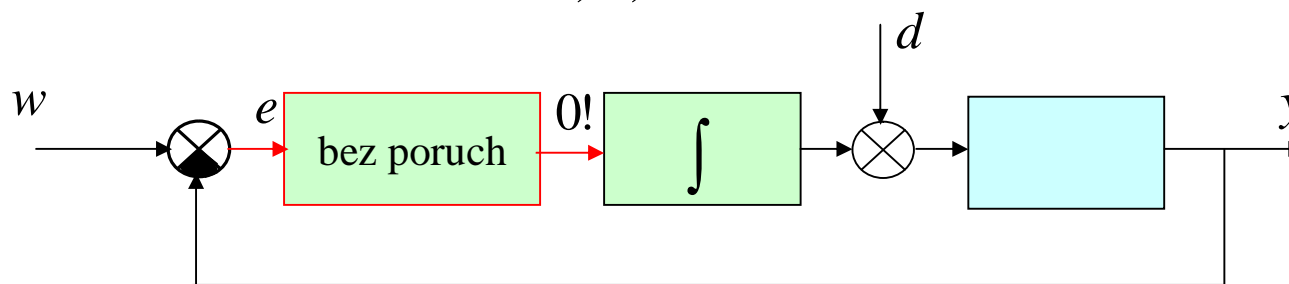
Nejpoužívanější regulátor v průmyslové praxi ...



$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right)$$

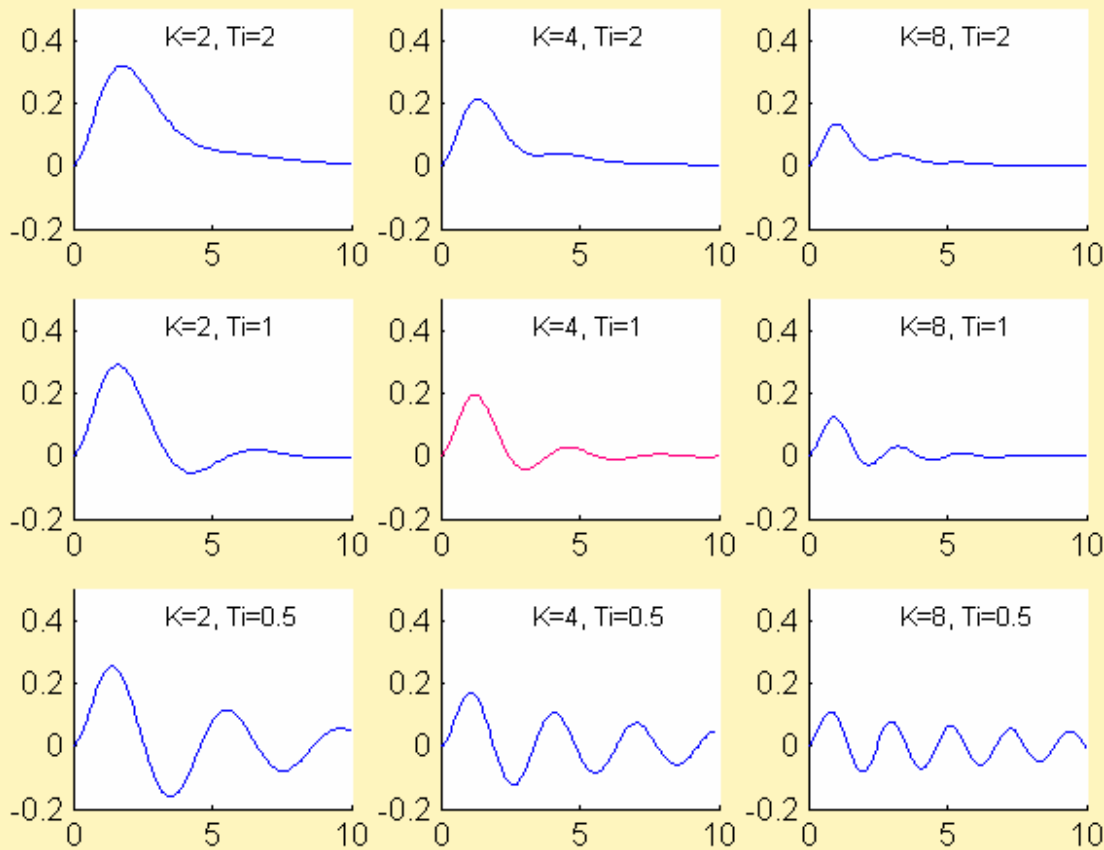


PI-regulátor zajišťuje nulovou regulační odchylku v ustáleném stavu při konstantních hodnotách w , d , n .



* PI - regulátor

Kmitavost smyčky se zvětší zvýšením zesílení a snížením integrační časové konstanty ...



Regulátor:

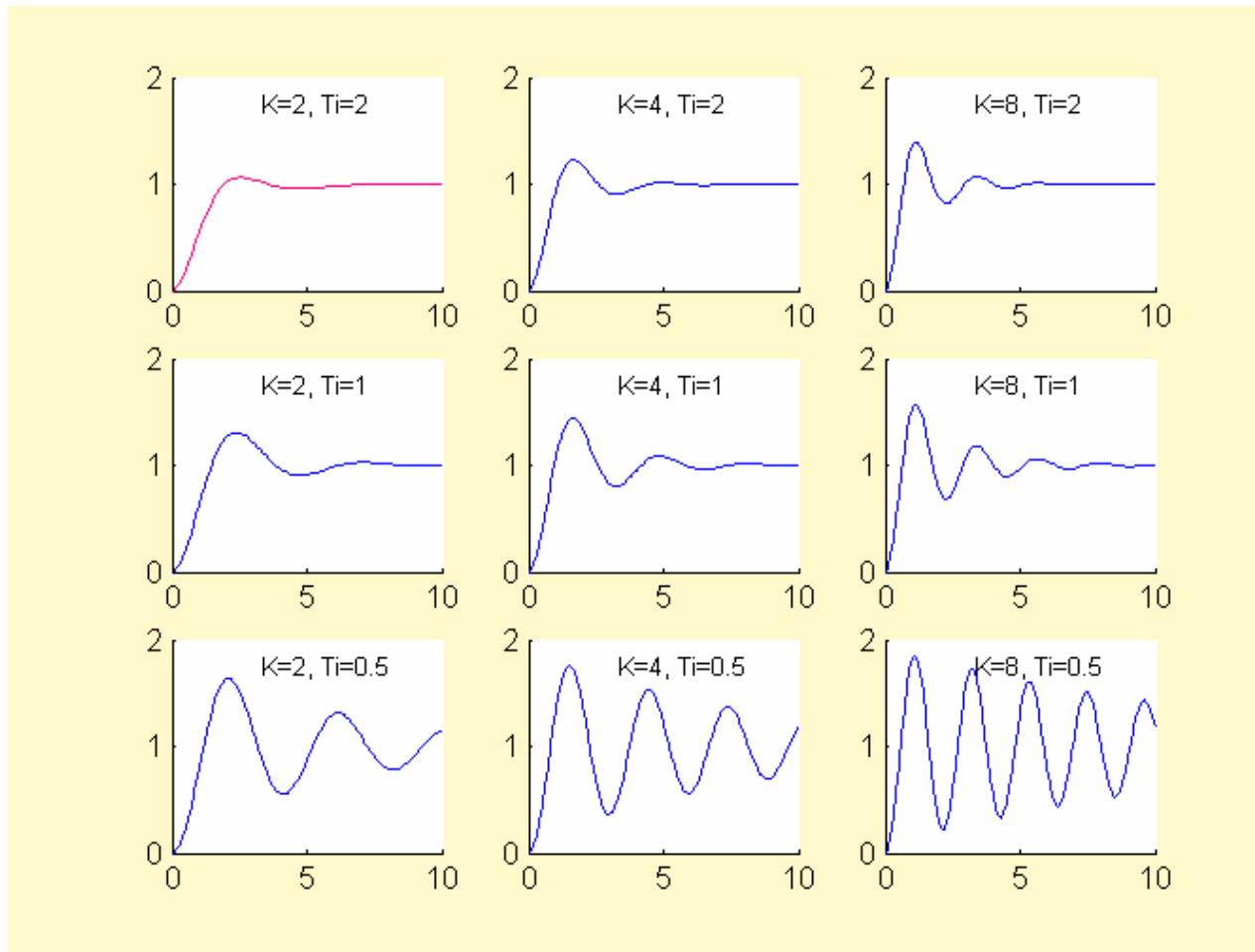
$$G(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

Proces:

$$F(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$$

* PI - regulátor

Optimální nastavení parametrů pro odezvu na skok v požadované hodnotě je jiné než pro odezvu na skok v poruše ...



Regulátor:

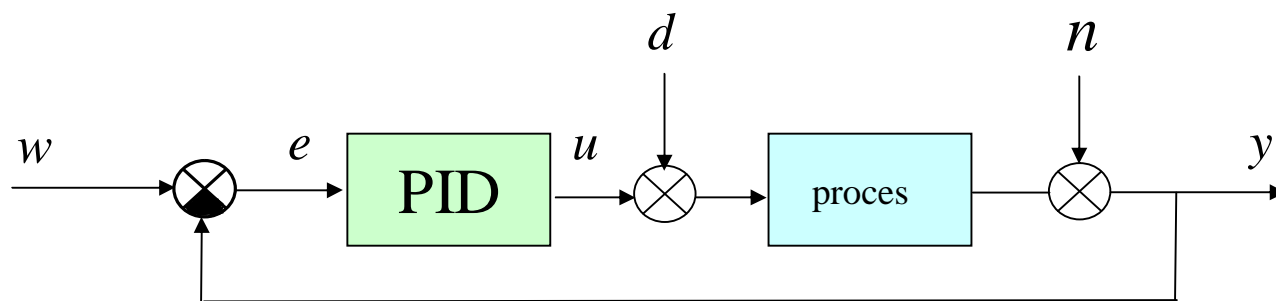
$$G(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Proces:

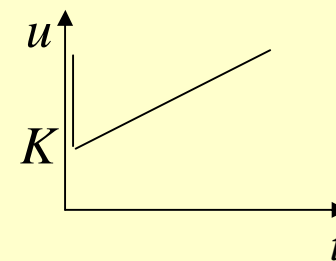
$$F(s) = \frac{1}{(s+1)^2}$$

* PID - regulátor

Standardní regulační algoritmus ...



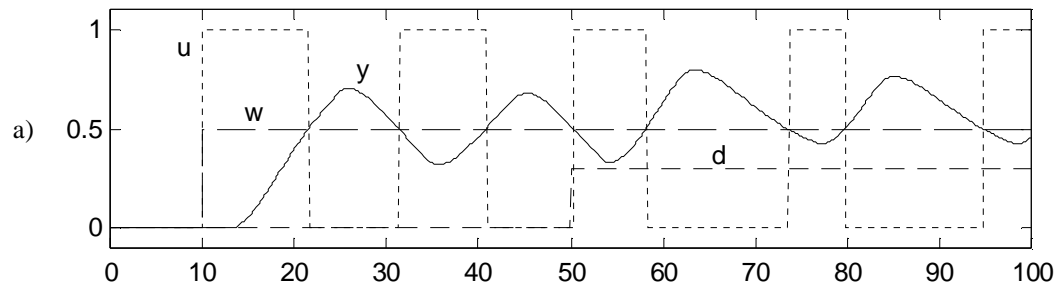
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$
$$e(t + T_d) \cong e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$



* Srovnání kvality řízení průmyslových regulátorů

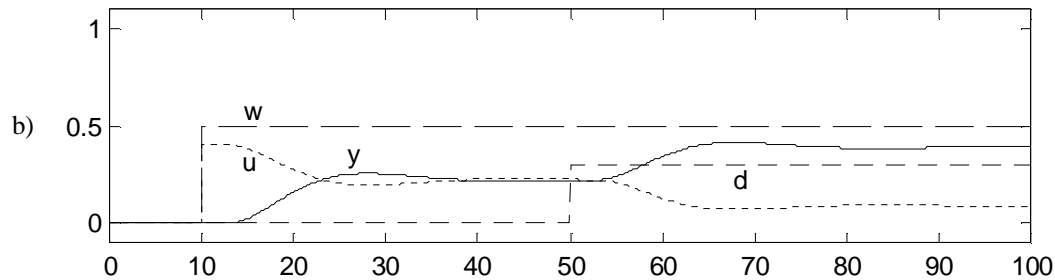
Proces:

$$F(s) = \frac{e^{-3s}}{(5s + 1)^2}$$



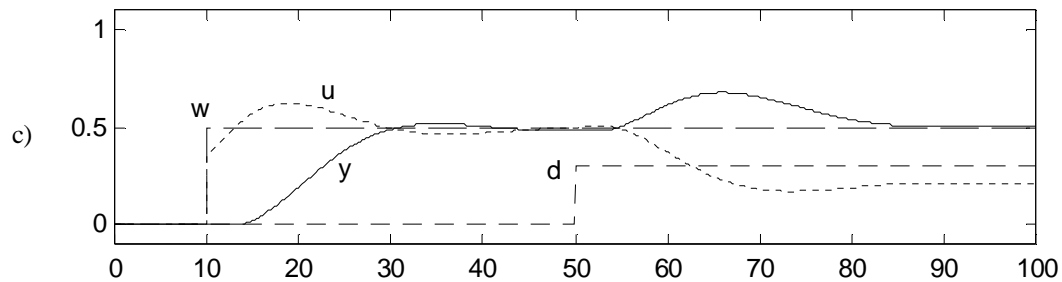
Relé:

Velké kolísání regulační odchytky ...



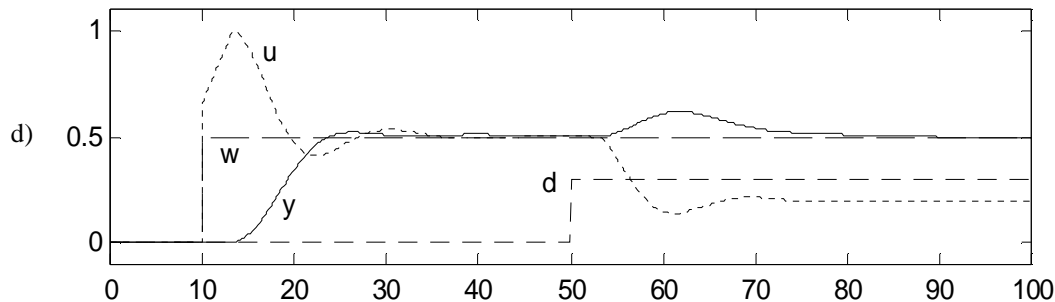
P: K=0,8

Nenulová regulační odchytka ...



PI: K=0,9; Ti=9,0

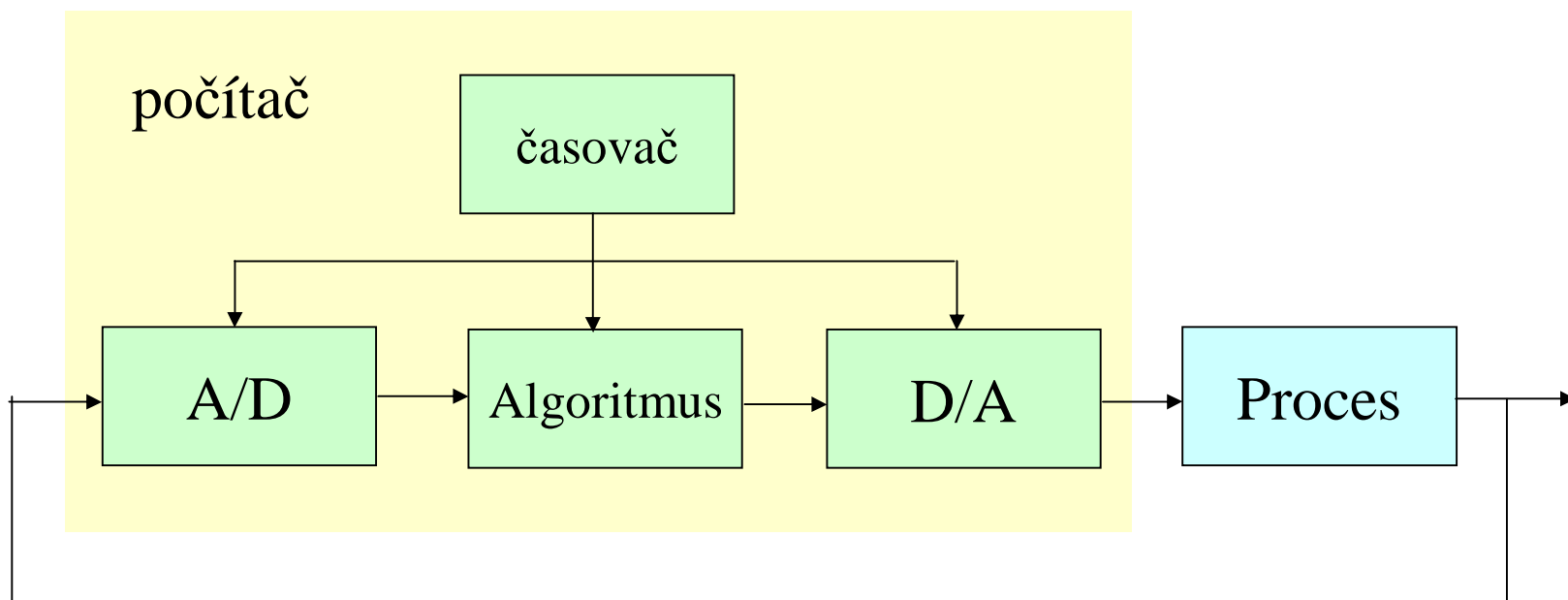
Velmi robustní, ale málo agresivní regulátor ...



PID: K=2,0; Ti=9,7; Td=3,2

Další zvýšení kvality regulace složitějším regulátorem je možné pouze pro špatně regulovatelné procesy ...

Řízení počítačem 1955*



pionýrské období 1955, přímé číslicové řízení 1962, minipočítače 1967,
mikropočítače 1972, programovatelné automaty, signálové procesory 1980

Příklad ze současnosti

Osobní vozítko



Nakloň se dopředu a pojedíš dopředu.

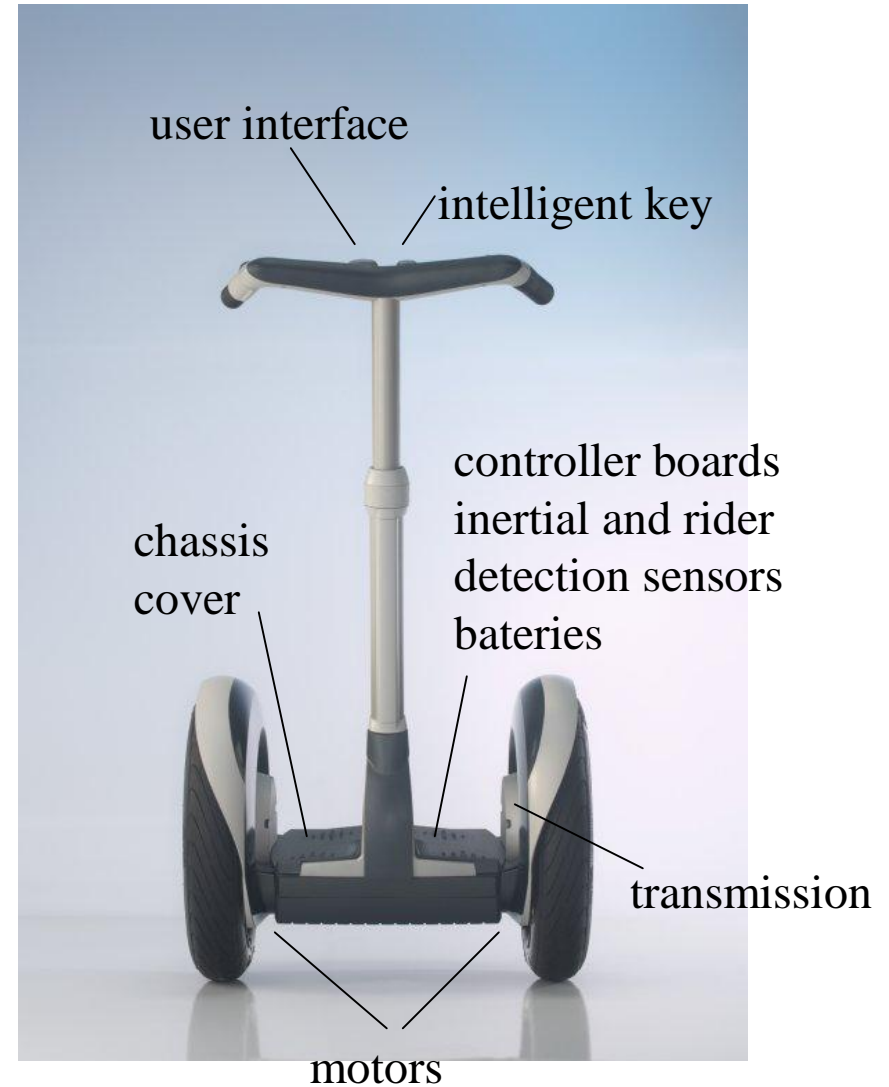
Nakloň se více a pojedíš rychleji.

Narovnej se a zastavíš.

Nakloň se dozadu a pojedíš dozadu.

Otoč zápěstím na příslušnou stranu a zatočíš.

Segway Human Transporter



Zakladní vlastnosti

Maximální rychlost: 20km/h

Dojezd: 17 km per batery

Nabíjecí čas: jedna hodina pro
dvě hodiny jízdy



Zatížení: osoba-110kg,
zátěž-35 kg

Váha: 30 až 36 kg
v závislosti na modelu

It is a perspective view of a simplified embodiment of the present invention

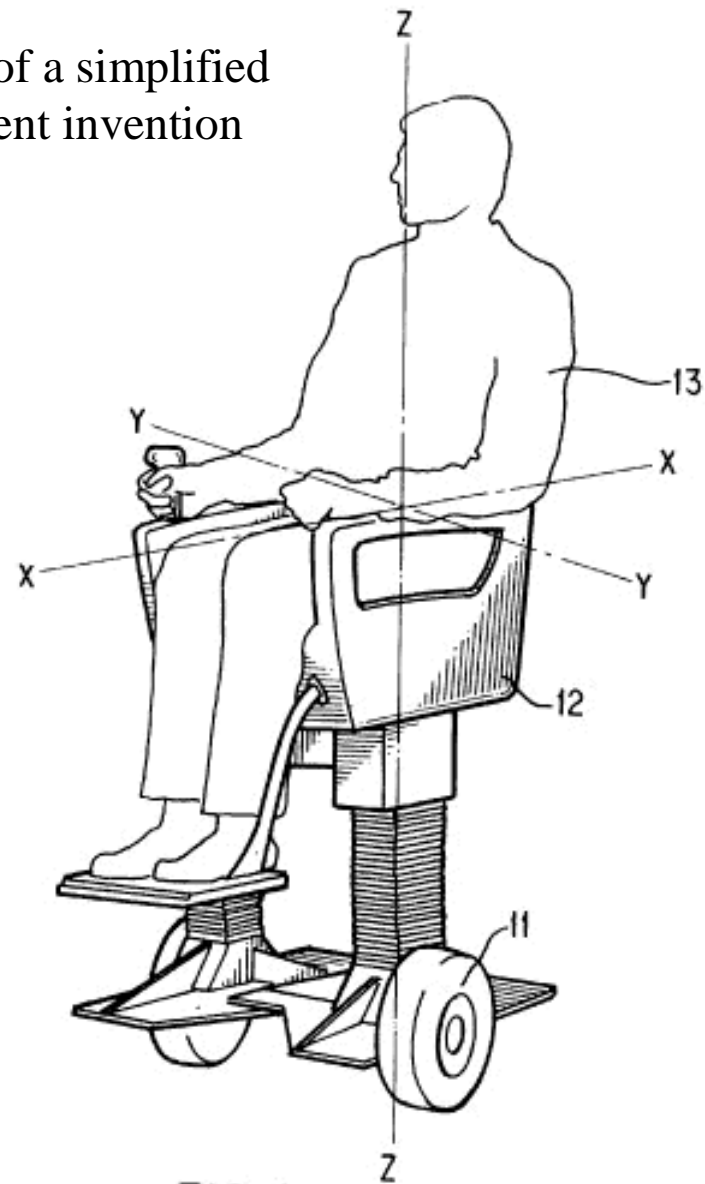


FIG. 1

Father details

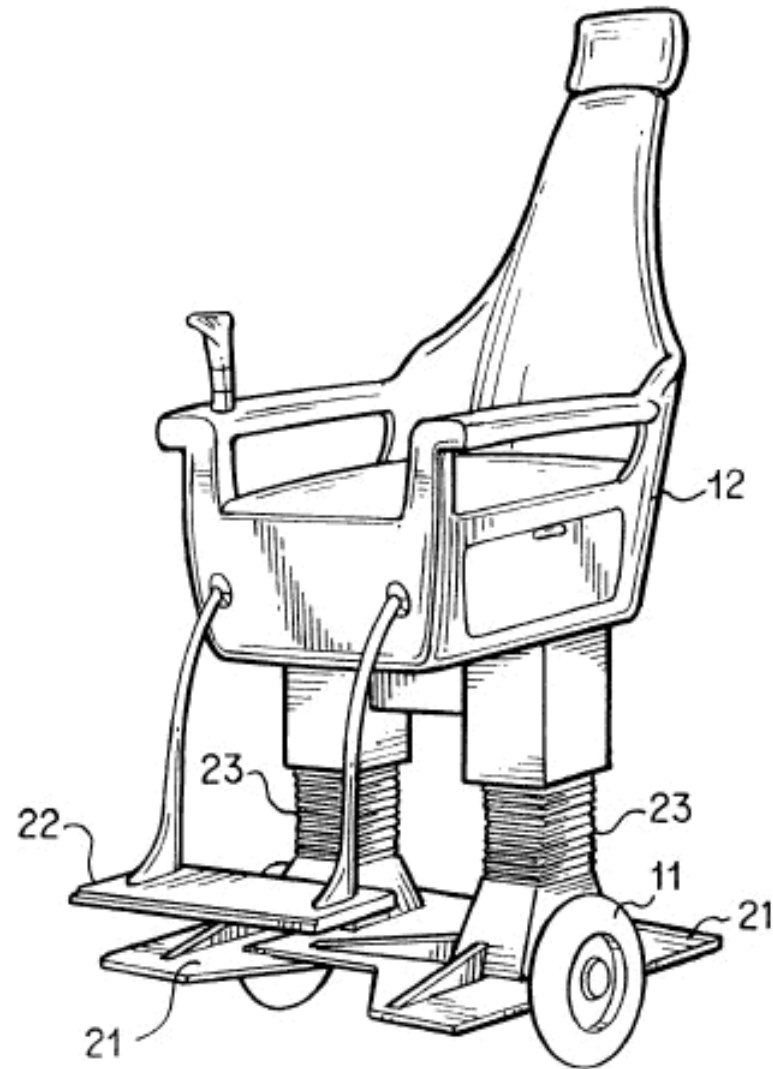


FIG. 2

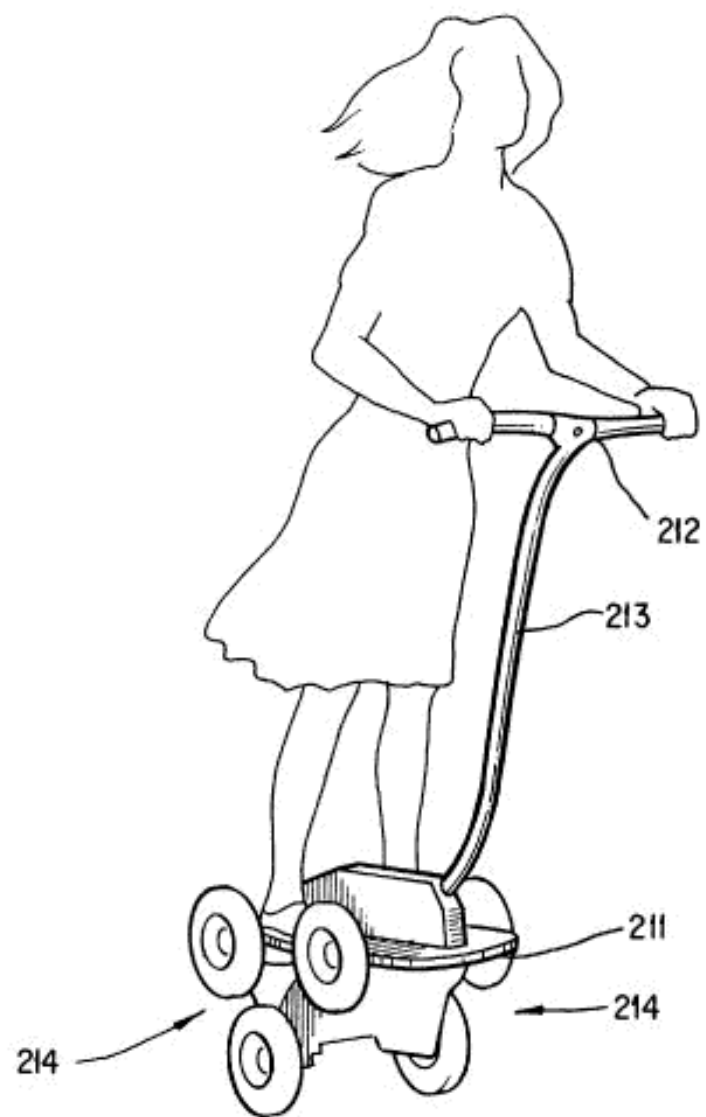


FIG. 21

Block diagram showing generally the nature of power and control

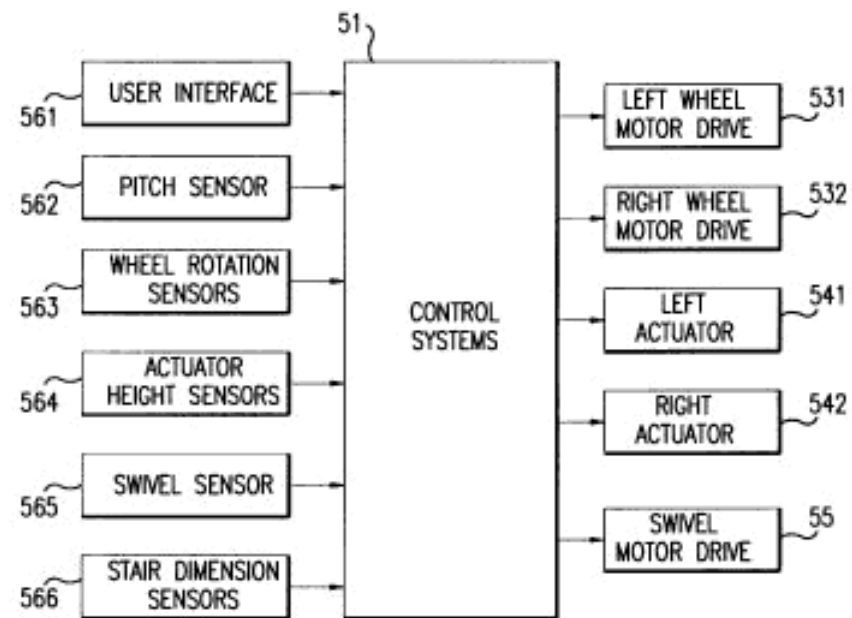


FIG.5

Control strategy for a simplified version

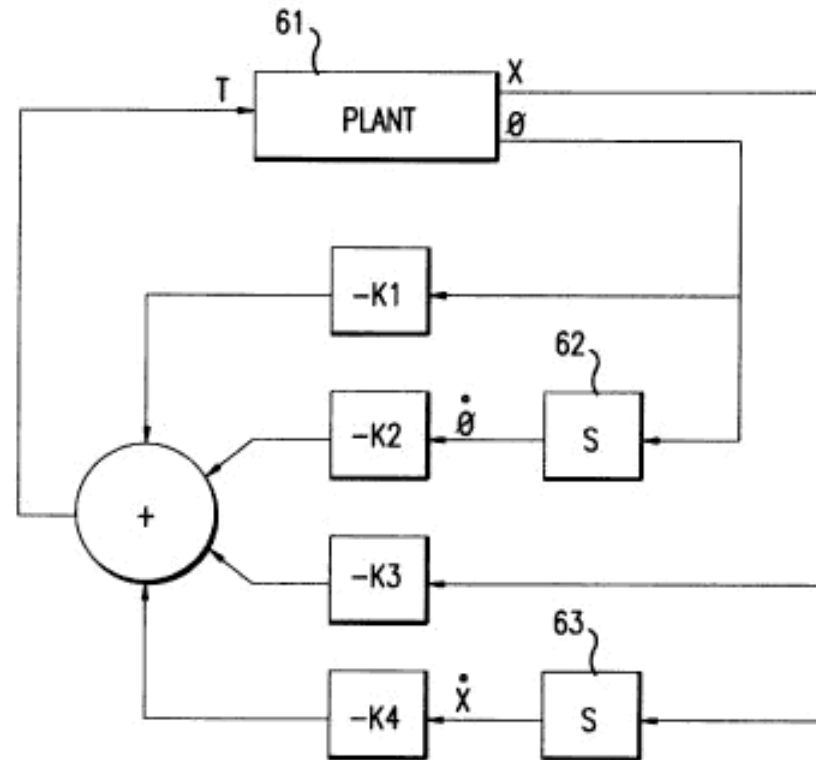
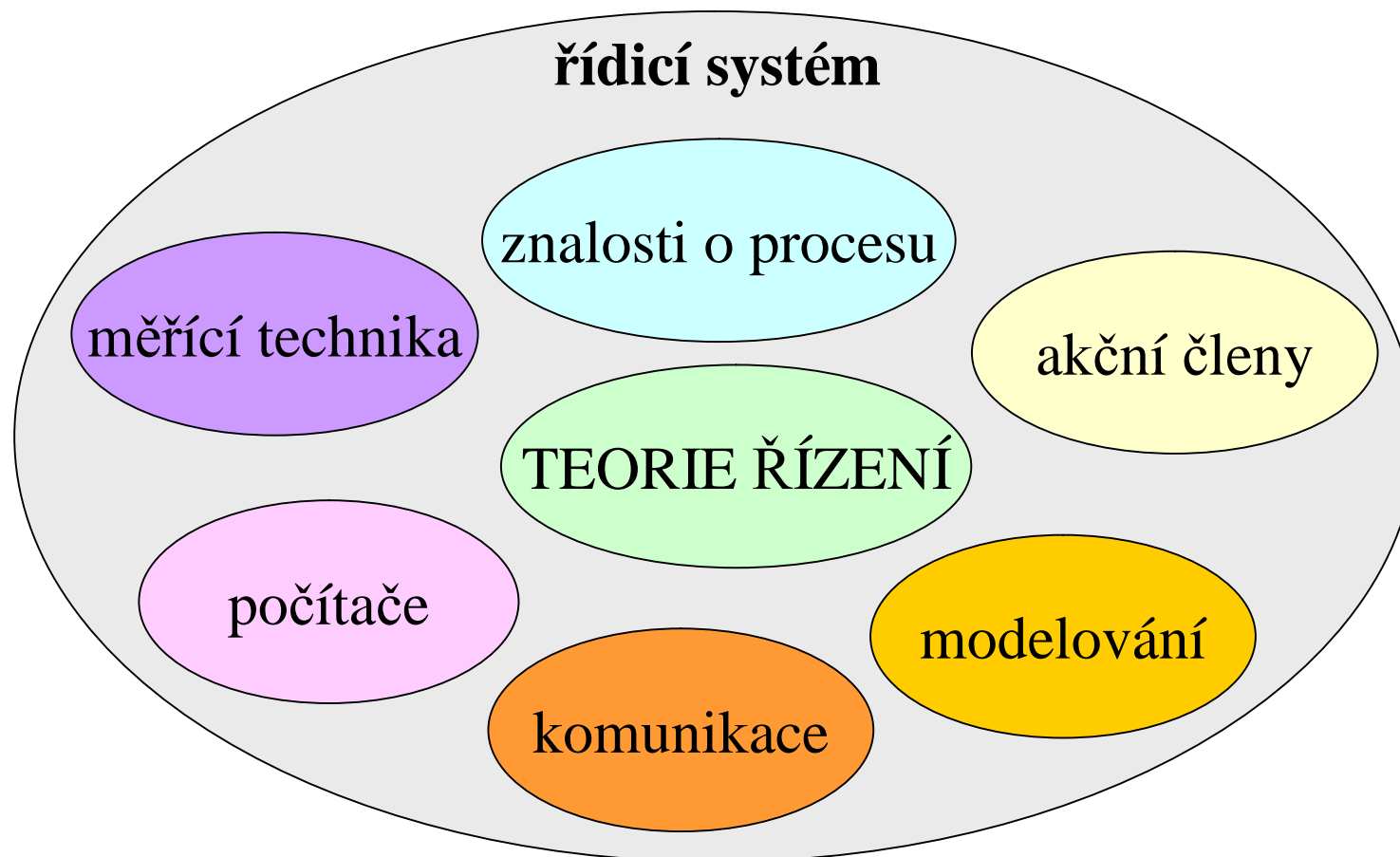


FIG.6

Řízení počítačem



Automatické řízení je pozoruhodný interdisciplinární obor s enormním rozsahem praktických aplikací.

Součásti současné teorie řízení

