

Základy kybernetiky

M. Schlegel
schlegel@kky.zcu.cz

ZČU v Plzni, FAV, KKY

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

Kotek Z. : Kybernetika. SNTL Praha, 1990.

Schlegel M. : Přednášky ZKY a doplňující texty,
<https://portal.zcu.cz>

Principia Cybernetica Web

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)

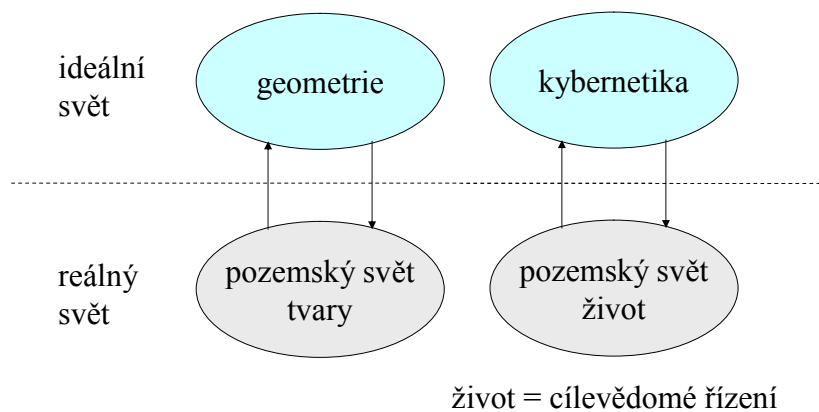
Dobová charakteristika kybernetiky ...

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 ovládní 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



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 (1646-1716)
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)
Přifazoval pojům myšlení písmena (proměnné) a tím redukoval logické výroky na výpočet. Vytvořil Boolovu algebru.



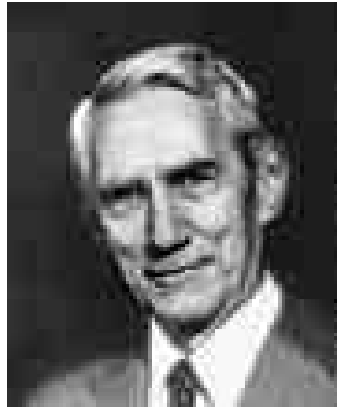
A.M. Turing (1912-1954)
Anglický matematik a logik.
Zabýval se teorií počítačích strojů.

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“.

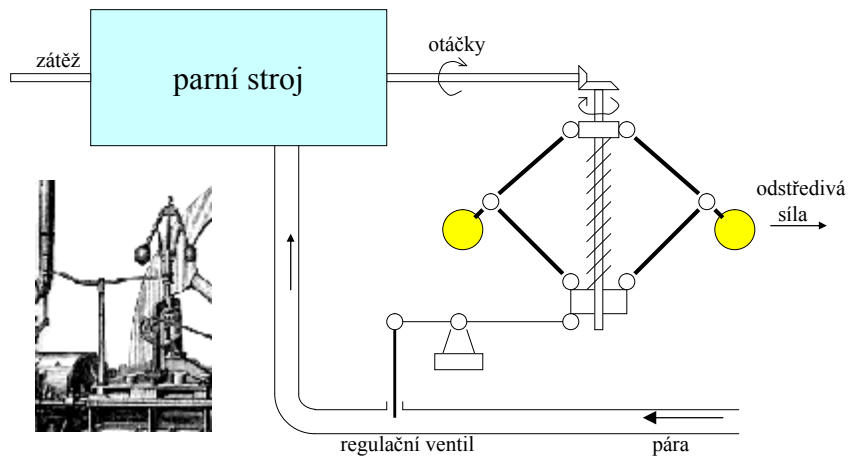
Myslím si celé číslo z intervalu $1, \dots, 1024$. Jak velkou informaci musíš získat abys znal toto číslo? (10 bitů)

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

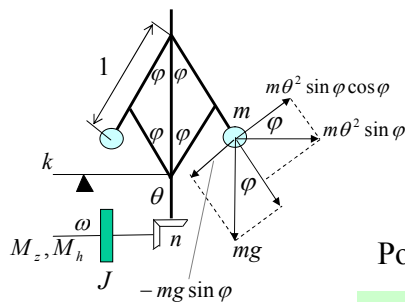
Wattův odstředivý regulátor



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
- J moment setrvačnosti

Rovnováha vychylujících sil:

$$m\theta^2 \sin \varphi \cos \varphi - mg \sin \varphi = 0$$

V ustáleném stavu je úhel φ určen úhlovou rychlostí otáčení ω .

Podmínka dynamické rovnováhy:

$$m\ddot{\varphi} = m\theta^2 \sin \varphi \cos \varphi - mg \sin \varphi - b\dot{\varphi}$$

$$J\dot{\omega} = M_h - M_z$$

$$\theta = n\omega$$

$$M_h = M_0 + k(\cos \varphi - \cos \varphi_0)$$

* Nástin Vyšněgradského analýzy

$$m\ddot{\varphi} = mn^2\omega^2 \sin \varphi \cos \varphi - mg \sin \varphi - b\dot{\varphi},$$

$$J\dot{\omega} = k \cos \varphi - F,$$

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

Položíme-li $\psi = \dot{\varphi}$, obdržíme

$$\dot{\varphi} = \psi,$$

$$\dot{\psi} = n^2\omega^2 \sin \varphi \cos \varphi - g \sin \varphi - \frac{b}{m}\psi,$$

$$\dot{\omega} = \frac{k}{J} \cos \varphi - \frac{F}{J}$$

* 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.

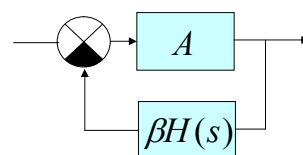
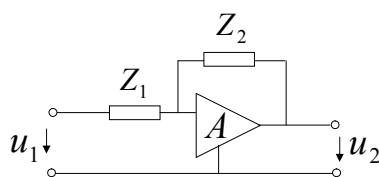
Obecné řešení problému stability lineárních systému bylo obdrženo později Routhem a Hurwitzem.

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. Svě 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:
 $A\beta H(j\omega) = -1$

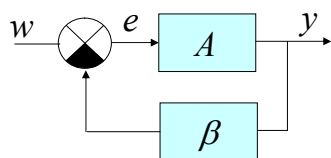
Očekávané chování



Podivné chování Blackova zesilovače



*** Elementární vlastnosti zpětnovazební smyčky s ideálními zesilovači**



A, β jsou reálná čísla

$$e = w - \beta y$$

$$y = Ae$$

$$y = A(w - \beta y)$$

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

Pro $\beta A \gg 1$

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

Vztah mezi vstupem a výstupem uzavřené smyčky nezávisí na A .

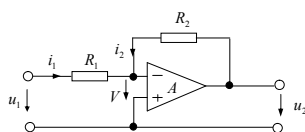
Pro $\beta A = -1$

$$y \rightarrow \pm\infty$$

Omezený vstup w vede na neomezený výstup y .

*** Zpětná vazba potlačuje neurčitost**

Příklad realizace přesného zesílení pomocí zpětné vazby s operačním zesilovačem, jehož zesílení má velkou toleranci.

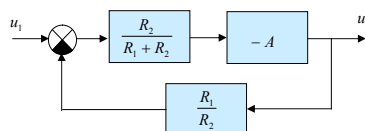


$$u_i = R_1 i_1 + V$$

$$u_2 = -R_2 i_1 + V = -A V$$

↓

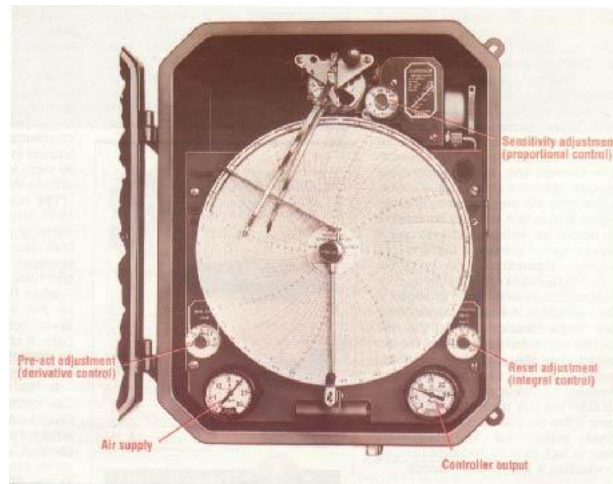
$$\frac{u_2}{u_1} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + \frac{1}{A} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}$$



$$\frac{R_2}{R_1} = 100, \quad A = 10^4,$$

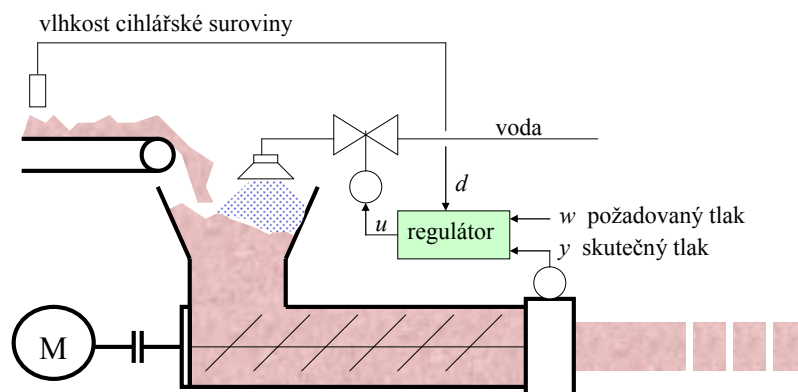
10% změna A způsobí pouze 0.1% změnu v poměru $\frac{u_2}{u_1}$

První průmyslový PID regulátor Taylor Instrumets (1940)



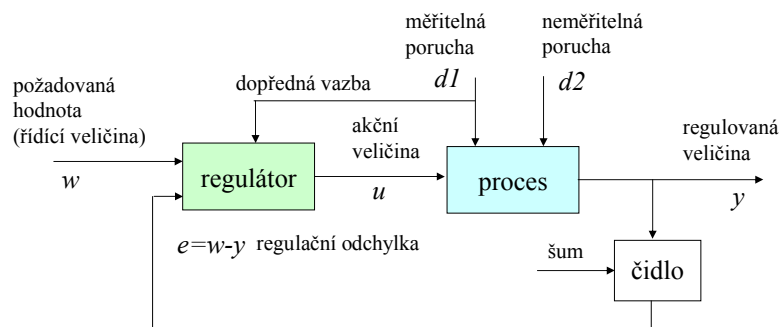
Regulace tlaku v ústí cihlářského lisu

Příklad jednoduchého regulačního obvodu ...



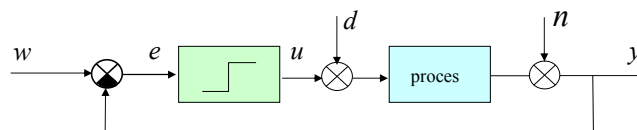
Struktura jednoduchého regulačního obvodu

Jednoduchá regulační smyčka ...

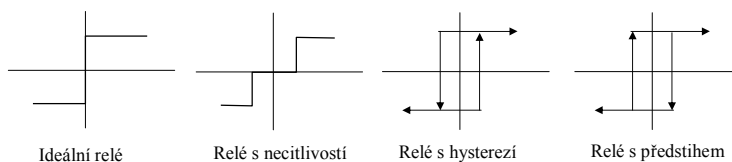


* Dvoustavový nespojitý regulátor

Nejjednodušší, nejrobustnější ...

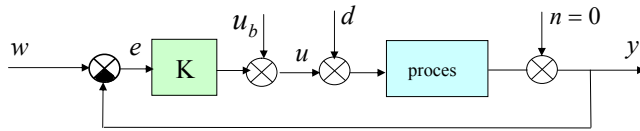


$$u = \begin{cases} u_{\max} & \text{pro } e > 0 \\ u_{\min} & \text{pro } e < 0 \end{cases}$$



* P - regulátor

Nejjednodušší spojité regulátor ...



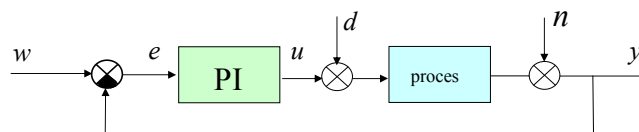
$$u = \begin{cases} u_{\max} & \text{pro } Ke + u_b > u_{\max} \\ Ke + u_b & \text{pro } Ke + u_b \in \langle u_{\min}, u_{\max} \rangle \\ u_{\min} & \text{pro } Ke + u_b < u_{\min} \end{cases}$$

Regulační odchylka v ustáleném stavu je nenulová:

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

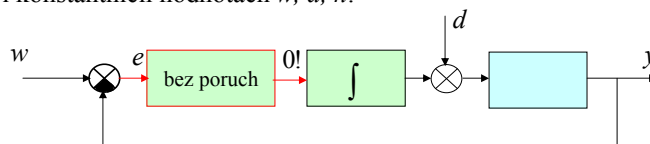
* PI - regulátor

Nejpoužívanější regulátor v průmyslové praxi ...



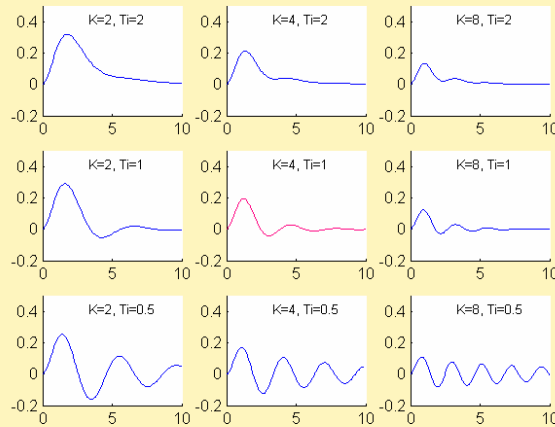
$$u(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right)$$

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:

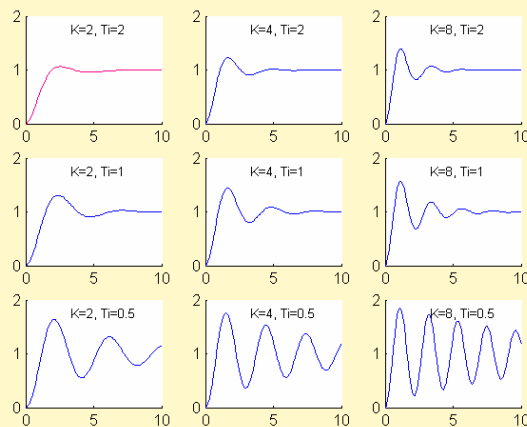
$$G(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

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:

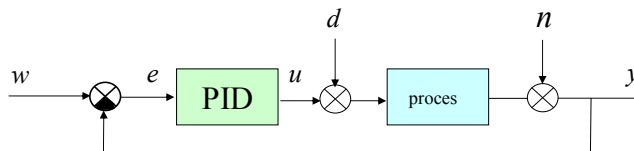
$$G(s) = K\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$$

Proces:

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

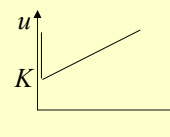
* PID - regulátor

Standardní regulační algoritmus ...



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

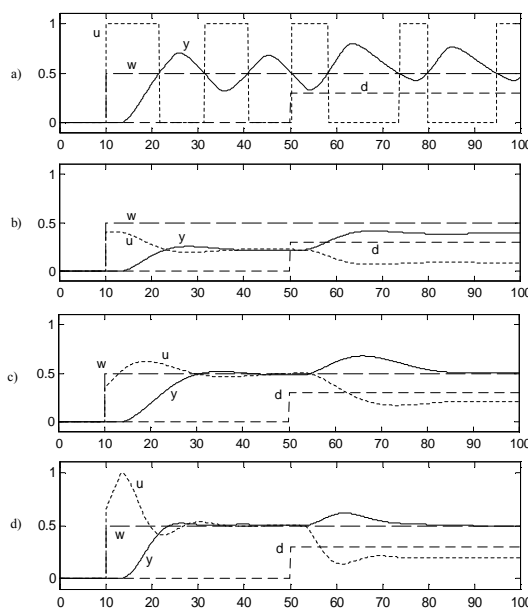
$$e(t + T_d) \cong e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt}$$



* Srovnání kvality řízení průmyslových regulátorů

Proces:

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



Relé:

Velké kolísání regulační odchyly ...

P: $K=0,8$

Nenulová regulační odchylyka ...

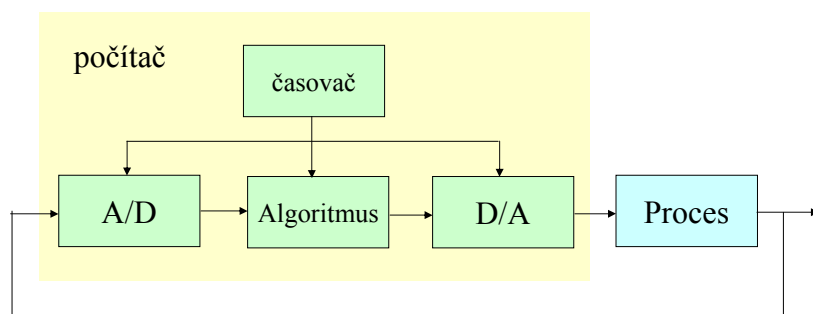
PI: $K=0,9; T_i=9,0$

Velmi robustní, ale málo agresivní regulátor ...

PID: $K=2,0; T_i=9,7; T_d=3,2$

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, víceprocesorové prostředky 1990

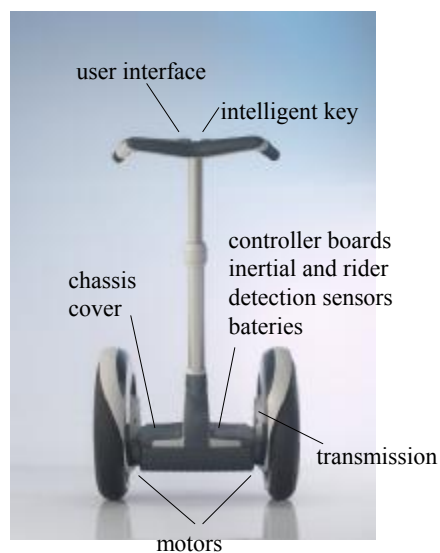
Příklad ze současnosti

Osobní vozítko



Nakloň se dopředu a pojedeš dopředu.
Nakloň se více a pojedeš rychleji.
Narovnej se a zastavíš.
Nakloň se dozadu a pojedeš dozadu.
Otoč zápěstím na příslušnou stranu a zatočíš.

Segway Human Transporter



Zakladní vlastnosti

Maximální rychlost: 20km/h

Dojezd: 17 km per batery

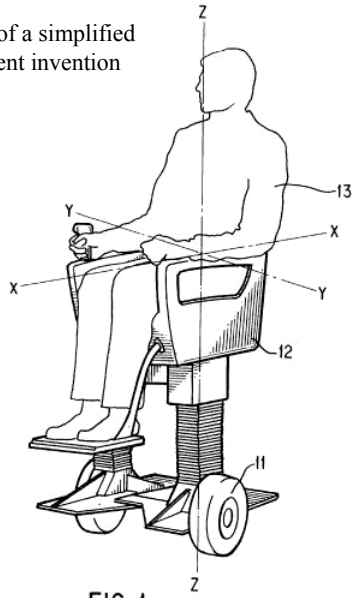
Nabíjecí čas: jedna hodina pro
dvě hodiny jízdy



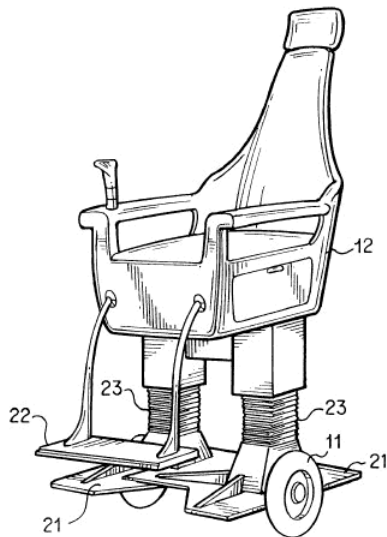
Zatížení: osoba-110kg,
zátěž-35 kg

Váha: 30 až 36 kg
v závislosti na modelu

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



Further details



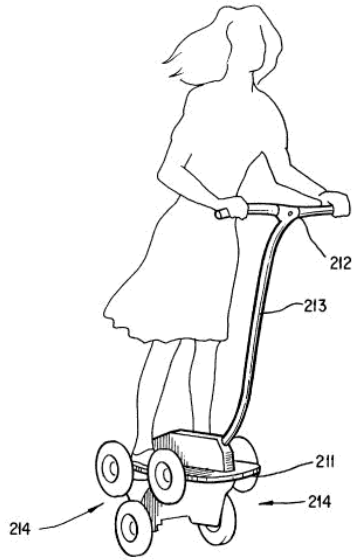


FIG. 21

Block diagram showing generally the nature of power and control

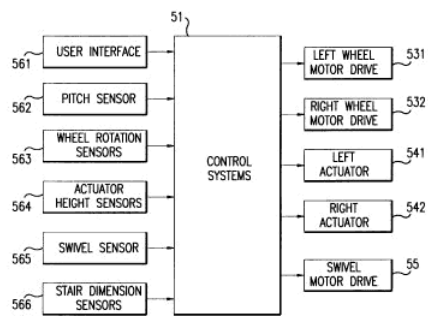


FIG. 5

Control strategy for a simplified version

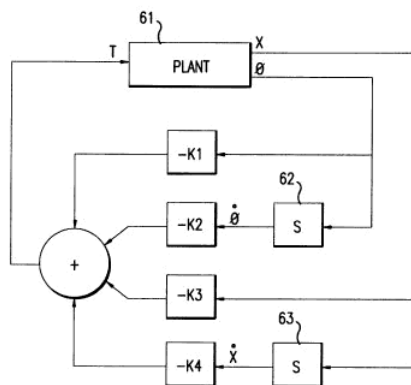
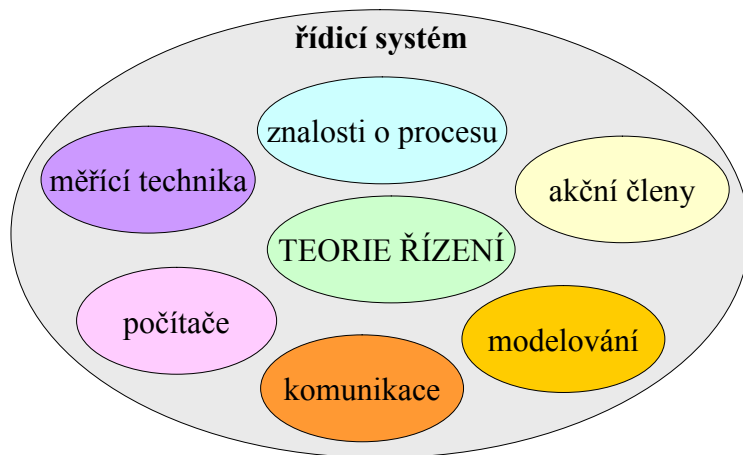


FIG.6

Řízení počítačem



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

Součásti současné teorie řízení

Obecná teorie systémů

Lineární systémy Teorie identifikace procesů

Nelineární systémy

Stochastické systémy

Adaptivní systémy Optimální systémy

Robustní systémy Inteligentní systémy

Prediktivní řízení