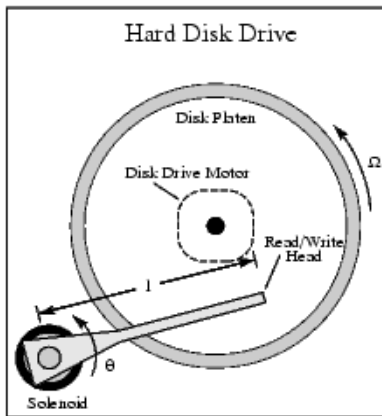


1. Snímacia hlava pevného disku (Hard disc drive)

(Riadenie polohy čítacej/zapisovacej hlavy pevného disku).



Základný model pre riadenie polohy čítacej/zapisovacej hlavy pevného disku (read/write head) je vyjadrený na základe Newtonovho zákona pomocou diferenciálnej rovnice druhého rádu

$$J \frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} + C \frac{d\theta(t)}{dt} + K \theta(t) = K_i i$$

kde J je moment zotrvačnosti, C je koeficient viskózneho trenia, K je koeficient tlmenia, K_i je konštanta motora, θ je poloha hlavy disku a i je vstupný prúd

$$J = 0.6$$

$$C = 0.08$$

$$K = 0.005$$

$$K_i = 0.08$$

$$J = 0.1$$

$$C = 0.02$$

$$K = 0.001$$

$$K_i = 0.05$$

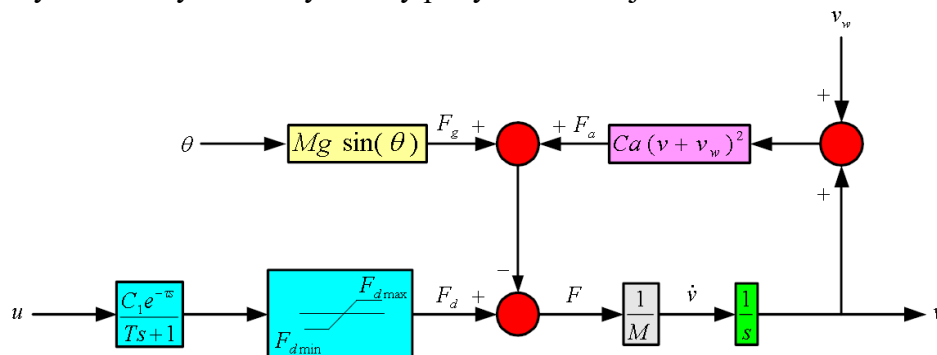
2. Pozdĺžna dynamika vozidla

Riadenie rýchlosti vozidla (tempomat, cruise control)

Súčasti tempomatu:

- riadiaca jednotka - sú k nej pripojené všetky snímače, regulátor aj ovládač. Je to „mozog“ celého tempomatu
- elektronický regulátor – je súčasťou riadiacej jednotky. Ovláda motor pomocou zabudovaného krokového motoru škrtiacej klapky (vtedy nie je škrtiaca klapka ovládaná tiahlom z plynového pedálu)
- snímač polohy brzdového pedálu – pri zošliapnutí trvale odpojí tempomat z činnosti
- snímač polohy pedálu spojky – pri zošliapnutí odpojí tempomat z činnosti, aby nebol motor "vytočený" do vysokých otáčok naprázdno
- snímač rýchlosti vozidla - táto rýchlosť sa porovnáva s nastavenou a následne reguluje

Zjednodušený nelineárny model dynamiky pohybu vozidla je na obrázku



kde $M(dv/dt)$ je zotrvačná sila, F_a je aerodynamický odpor, F_g je sila pôsobiaca proti hnacej sile motora F_d pri stúpaní/klesaní, v_w je rýchlosť nárazov vetra, M je hmotnosť vozidla, nákladu a pasažierov, θ je sklon cesty a C_a je koeficient aerodynamického odporu. Aktuátor (škrtiaca klapka) a pohonný systém vozidla sú modelované ako kaskádové zapojenie časového oneskorenia so zotrvačným systémom prvého rádu a obmedzenia hnacej sily (bloky tyrkysovej farby na obrázku).

Vstupno/výstupný linearizovaný model dynamiky pohybu vozidla v tvare prenosovej funkcie je

$$\frac{V(s)}{U(s)} = \frac{\frac{C_1}{MT}}{\left(s + \frac{2C_a v}{M}\right)\left(s + \frac{1}{T}\right)} e^{-Ds}$$

kde

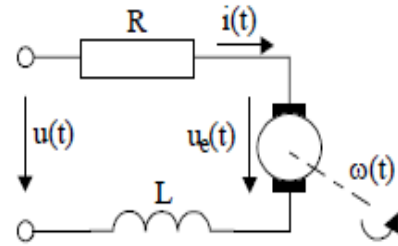
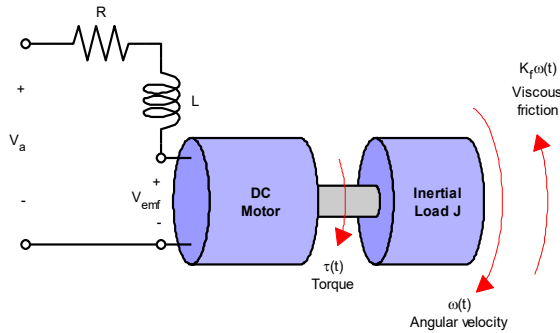
$C_1=743$, $T=1s$, $M=1500kg$, $C_a=1.19N/(m/s)^2$, $v=40km/h$, $g=9.81m/s^2$ (D bude zadané).

Rôzne modely je možné získať pre rôzne pracovné body dané

- zvolenou rýchlosťou ($35 - 50 kmh^{-1}$ (treba ju prepočítať na ms^{-1}))
- hmotnosťou vozidla ($1000 - 1800 kg$)
- $T: <0.8 - 1.2>$

3. Jednosmerný motor pre pohon škrtiacej klapky (A)

Riadenie uhlovej rýchlosti, riadenie polohy



$$L \frac{di_k}{dt} + R i_k = u_k - K_e \omega$$

$$J \frac{d\omega}{dt} + b \omega = K_T i_k$$

$$\frac{LJ}{K_T} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{Lb + RJ}{K_T} \frac{d\omega}{dt} + \frac{Rb + K_T K_e}{K_T} \omega = u_k$$

$$G_{mot} = \frac{\Omega(s)}{U_k(s)}$$

} riadenie uhlovej rýchlosti ω

$$\frac{LJ}{K_T} \frac{d^3 \varphi}{dt^3} + \frac{Lb + RJ}{K_T} \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{Rb + K_T K_e}{K_T} \frac{d\varphi}{dt} = u_k$$

$$G_{mot} = \frac{\Phi(s)}{U_k(s)}$$

} riadenie polohy (uhla natočenia φ)

Parametre:

- moment zotrvačnosti rotora (J)
 - tlmiaci koeficient mechanického systému (b)
 - elektromechanická konštanta K_e
 - elektrický odpor (R)
 - indukčnosť (L)
- vstup (V): kotvové napätie
výstup (θ): poloha hriadeľa (alebo uhlová rýchlosť)
Predpokladáme, že rotor a hriadeľ sú pevne spojené.

$$J = 0.02 \frac{kgm^2}{s^2}$$

$$J = 0.5e-4 \frac{kgm^2}{s^2}$$

$$J = 0.01 \frac{kgm^2}{s^2}$$

$$J = 3.2284 \frac{kgm^2}{s^2}$$

$$R = 2\Omega$$

$$R = 0.8\Omega$$

$$R = 1.5\Omega$$

$$R = 4\Omega$$

$$L = 0.5H$$

$$L = 0.6mH$$

$$L = 0.4mH$$

$$L = 0.02H$$

$$K_t = 0.1 \frac{Nm}{A}$$

$$K_t = 0.1 \frac{Nm}{A}$$

$$K_t = 0.15 \frac{Nm}{A}$$

$$K_t = 0.0274 \frac{Nm}{A}$$

$$K_e = 0.1 \frac{Nm}{A}$$

$$K_e = 0.0554 \frac{Nm}{A}$$

$$K_e = 0.15 \frac{Nm}{A}$$

$$K_e = 0.15 \frac{Nm}{A}$$

$$b = 0.02Nms$$

$$b = 0.001Nms$$

$$b = 0.00001Nms$$

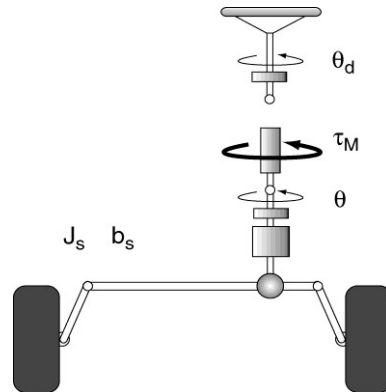
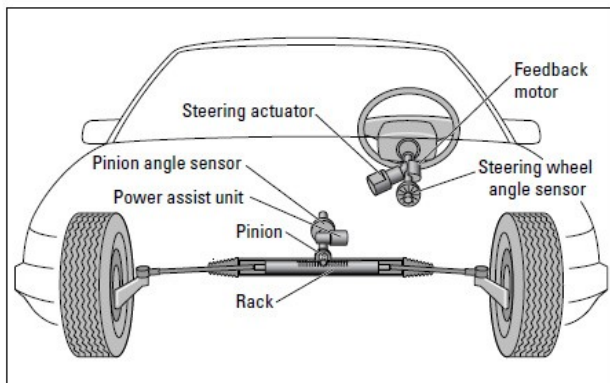
$$b = 0.002Nms$$

4. Riadenie vozidla na princípe „steer-by-wire“

Systém „Steer-by-Wire“ sa začína využívať v dnešných automobiloch a miera jeho integrácie bude s príchodom autonómnych vozidiel stále narastať.

Systém má dve hlavné časti, a to výkonový aktuátor umiestnený na mechanizme riadenia vozidla, čím ovláda priamo natočenie kolies, ale zároveň pôsobí ako spätnoväzobný člen, pretože obsahuje snímač natočenia, ktorý monitoruje aktuálny stav natočenia, využiteľný pre druhú časť systému. Tá taktiež zahŕňa aktuátor, ktorý je ale mechanicky spojený s volantom vozidla a jeho primárnou úlohou je snímať požiadavku vodiča na natočenie kolies, tiež ale dokáže otáčať volantom, aby poskytoval spätnú väzbu o skutočnom stave natočenia kolies.

Vstupom do systému je teda krútiaci moment akčného člena riadenia pohybu (toho na volante), ktorý budeme označovať ako τ_m a výstupnou veličinou je uhol natočenia pastorku θ , ktorý hovorí o skutočnom stave natočenia kolies. Systém je charakterizovaný dvoma konštantami, b_s je efektívny viskózný koeficient tlmenia a K je spätnoväzobné zosilnenie.



$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + b_s \frac{d\theta(t)}{dt} = K\tau_m(t)$$

$$K=(5-10), b_s=(2-5), \tau_m=(20-40)$$

$$K=5, b_s=2,$$

$$K=10, b_s=5$$

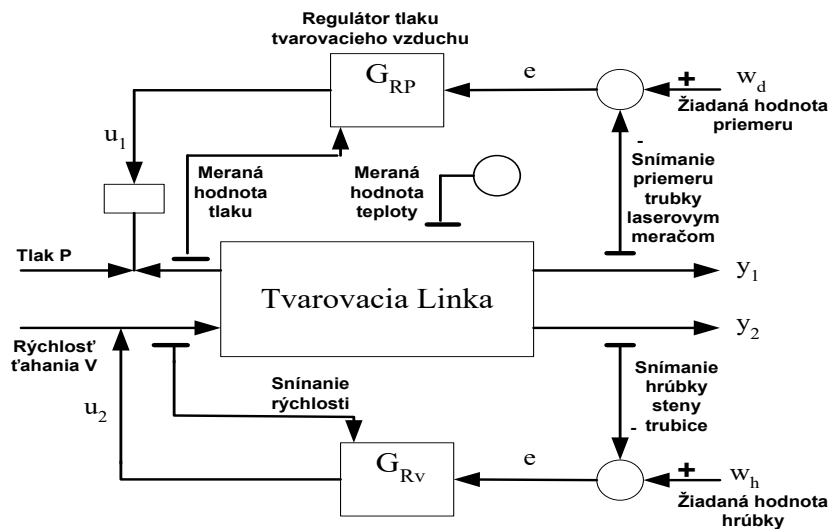
$$K=7.5, b_s=3.5$$

$$K=6, b_s=3$$

$$K=9, b_s=4$$

6. Tvarovanie sklenej trubice

Sklovina vytekajúca z dávkovača skloviny sa nabaľuje na otáčajúcu sa valcovitú píšťalu. Zo spodného konca sa kontinuálne vyťahuje trubica pomocou ťažného stroja, ktorý je umiestnený na konci linky. Do trubice je vháňaný tvarovací vzduch pod určitým tlakom. Vyrobená trubica musí mať požadovaný *priemer* a *hrúbku steny*. Tieto parametre sa dosahujú reguláciou tlaku tvarovacieho vzduchu a rýchlosti ťahania na ťažnom stroji.



Vstupnými veličinami sú tlak tvarovacieho vzduchu (u_1) a rýchlosť ťahania (u_2), výstupnými veličinami sú priemer trubice (y_1) a hrúbka jej steny (y_2).

Prenosová funkcia medzi priemerom trubice a tlakom tvarovacieho vzduchu je

$$G_{11}(s) = 187 \frac{1}{s^2 + 10.6s + 17.2} e^{-0.5s}$$

Prenosová funkcia medzi hrúbkou steny a rýchlosťou ťahania je

$$G_{22}(s) = \frac{57.51}{s^2 + 13.42s + 39.76} e^{-s}$$

7. Regulácia voľnobežných otáčok spaľovacieho zážihového motora s automatickou prevodovkou.

Navrhnutý systém riadenia má zabezpečiť hladkú prevádzku aj pri náhlych zmenách záťaže (klimatizácia, posilňovač riadenia apod.). Prenosová funkcia bola získaná linearizáciou v danom pracovnom bode. (otáčky 800 ot./min, záťaž 30 Nm)

Vstup do procesu: otvorenie ventilu pre prívod paliva (u_1)

Výstup z procesu: voľnobežné otáčky motora (y_1)

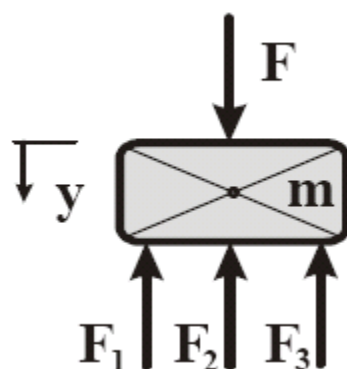
1. Pracovný bod (otáčky 800 ot./min, záťaž 30 Nm)

$$G_1(s) = \frac{9.62}{s^2 + 3.5s + 5.05}$$

2. Pracovný bod (otáčky 800 ot./min, záťaž 0 Nm)

$$G_2(s) = \frac{20.5}{s^2 + 3.5s + 5.05}$$

8. Sedačka (systém pružina-tlmič)



$F = m_2 g$	váha vodiča	} $F_1 + F_2 + F_3 + F = 0$
$F_1 = -ky$	reakcia pružiny	
$F_2 = -c \frac{dy}{dt}$	reakcia tlmiča	
$F_3 = -m \frac{d^2 y}{dt^2}$	zotrvačný odpor	

$m_1 = 20 \text{ kg}$ - hmotnosť sedačky,

m_2 = hmotnosť vodiča,

$m = m_1 + m_2$

$g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$, $k = 8 \cdot 10^2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$, $c = (2,4 - 5,0) \cdot 10^2 \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F$$

9. Žeriav

Riadenie polohy mačky žeriava

Mačka žeriavu je elektricky poháňaná jednosmerným alebo striedavým servomotorom. Ak zanedbáme účinok pohybu záťaže (kývanie) na pohyb mačky, môžeme jej dynamický model vyjadriť takto:

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \alpha \frac{dx(t)}{dt} = K \alpha u(t)$$

kde $X(s)$ je premiestnenie vozíka, $U(s)$ je vstup, a K a α sú kladné konštanty, ktoré súvisia s dynamikou motora a mechanického systému

$K=(0.5, 2.5)$

$\alpha=(0.1, 0.9)$



$K=0.5$, $\alpha=0.1$, skoková zmena na vstupe $U(0)=20$ V

$K=1$, $\alpha=0.3$, skoková zmena na vstupe $U(0)=50$ V

$K=1.5$, $\alpha=0.5$, skoková zmena na vstupe $U(0)=120$ V

$K=2$, $\alpha=0.7$, skoková zmena na vstupe $U(0)=220$ V

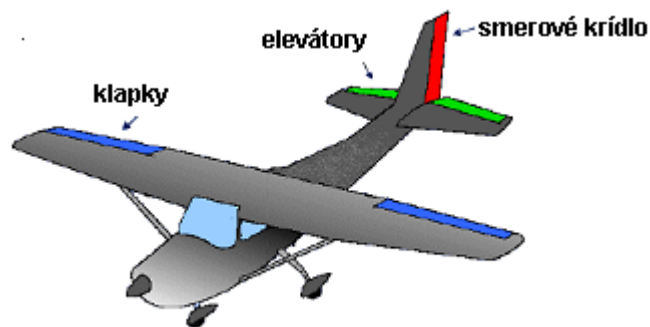
$K=2.5$, $\alpha=0.9$, skoková zmena na vstupe $U(0)=380$ V

10. Lietadlo Boeing 747

Návrh systému riadenia výšky letu (altitude-hold autopilot)

Autopilot je automatické zariadenie, ktoré zabezpečuje automatický let lietadla po zvolenej trajektórii a trase. Je to počítačom riadený systém, ktorý aktívne zasahuje do riadenia lietadla a môže ho aj priamo riadiť. Funkciou jednoduchých autopilotov je hlavne stabilizácia letu a udržanie horizontálneho letu v nastavenom kurze. Modernejšie autopiloty umožňujú let po vopred naprogramovanej trase s určenou krivkou alebo s korekciou z pozemných stanovísk. V tomto prípade budeme uvažovať zjednodušenú verziu autopilota, ktorý bude udržiavať požadovanú výšku letu.

Lietadlový riadiaci systém je súbor mechanických a elektronických zariadení, ktoré umožňujú lietadlu letieť s akceptovateľnou presnosťou a spoľahlivosťou. Riadiaci systém sa skladá z riadiaceho kokpitu, senzorov, akčných členov (hydraulických, mechanických alebo elektrických) a počítača. Lietadlo sa riadi pomocou klapiek, ktoré menia tvar krídla, a tak menia smer aj veľkosť vztlaku a trenia. Typickou súčasťou lietadla používanou na ovládanie výšky letu sú zadné výškové elevátory, ktoré sú umiestnené horizontálne na chvoste lietadla ďaleko od jeho ťažiska.



Obr. 1 Základné druhy riadiacich klapiek

- a) elevátory – malé klapky na zadných krídlach, ktorými sa riadi uhol lietadla
 - b) klapky – na hlavných krídlach modifikujú tvar krídla, smer vztlaku, brzdia pri pristávaní
 - c) smerové krídlo – je na hornom zadnom krídle a otáča lietadlo pri nižších rýchlostiach.
- Tieto časti sú ovládané pomocou páky alebo kormidla a pedálov.

Zmena zdvihu elevátorov má za následok vznik síl spôsobujúcich uhlovú rýchlosť stúpania a tiež uhol stúpania. Pre pohyb elevátorov ako aj pohyb smerového krídla sú preferované hydraulické výkonové orgány pre ich pomeru sily ku hmotnosti.

Linearizovaný model lietadla Boeing 747 je odvodený z odchýlkových rovníc pozdĺžneho pohybu Boeingu 747. Pretože úlohou je navrhnuť autopilot výšky letu, uvažovať budeme prenosovú funkciu medzi odchýlkou výšky a odchýlkou elevátorov:

$$F(s) = \frac{h(s)}{\delta e(s)} = \frac{32.7s^3 + 1.254s^2 - 1036s - 4.705}{s^5 + 1.298s^4 + 1.682s^3 + 0.01004s^2 + 0.0001753s} =$$
$$= \frac{32.7(s + 0.0045)(s + 5.645)(s - 5.61)}{s(s + 0.003 \pm 0.0098j)(s + 0.6463 \pm 1.1211j)}$$

kde δe je odchýlka elevátorov od nominálnej hodnoty pracovného bodu.