

Automatické řízení – semestrální úloha

KULIČKA NA TYČI

Modelování

Cílem této části je získat rozumně přesný model jeho pro pozdější regulaci.

Úlohy (hodnocení je pouze doporučené):

1. Ověřte komunikaci laboratorního modelu s Matlabem (pouze laboratorní varianta – MASTER).
2. Seznamte se s matematickým modelem kuličky na tyči.
3. Vytvořte stavové rovnice Vašeho systému po rozumných zjednodušeních. [5 %]
4. Proveďte linearizaci modelu z bodu 3. ve vhodně zvoleném pracovním bodě. [5 %]
5. Identifikujte všechny statické nelinearity modelu typu saturace vstupů a stavů a pásma necitlivosti. [5 %]
6. Proveďte identifikaci dynamiky servomotoru s tyčí v okolí Vámi vhodně zvoleného pracovního bodu. [10 %]
7. Proveďte identifikaci dynamiky pohybu kuličky v okolí Vámi vhodně zvoleného pracovního bodu. [10 %]
8. Namodelujte nelineární a linearizovaný systém v Simulinku včetně všech omezení a s již identifikovanými parametry. [5 %]
9. Porovnejte a okomentujte odezvy nelineárního, linearizovaného a zadaného reálného/virtuálního systému na vhodně zvolené vstupní signály a počáteční podmínky. U všech průběhů, pokud je to možné, uveďte i vstupní signál. Zhodnoťte modelování část. [10 %]

Při identifikaci často není nutné (a ani možné) identifikovat každý jednotlivý parametr matematického modelu, stačí identifikovat vhodně substituované a sdružené parametry. Odevzdává se zpráva o identifikaci a vytvořený nelineární a linearizovaný model.

Regulace

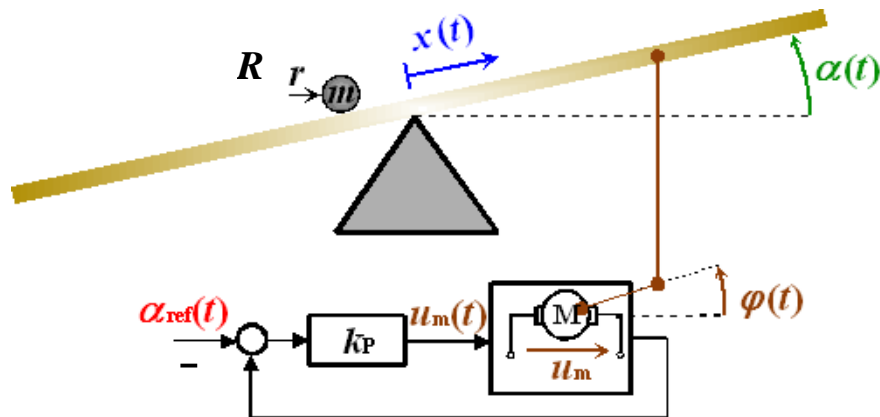
Jako regulovanou veličinu uvažujte polohu kuličky x . Návrh regulátorů provádějte pro linearizovaný systém. Navržené regulátory ověřujte nejprve na linearizovaném modelu, poté na nelineárním modelu v okolí pracovního bodu a nakonec na zadaném reálném/virtuálním systému v okolí pracovního bodu.

Úlohy (hodnocení je pouze doporučené):

10. Navrhněte a odzkoušejte alespoň tři vhodné typy dynamického zpětnovazebního regulátoru od výstupu (lead, lag, lead-lag, P, PI, PD, PID, PD s filtrovanou D složkou, PID s filtrovanou D složkou). Každý navrhněte jinou metodou. Při návrhu respektujte omezení rozsahu vstupního signálu systému. Při návrhu se snažte docílit minimální doby ustálení výstupní veličiny při maximálním překmitu 20% při skoku referenčního signálu. [20 %]
11. Alespoň jeden z regulátorů musí dosáhnout nulové regulační odchylky v ustáleném stavu na fyzikálním systému, u zbývajících je povolena maximální odchylka 10% z reference [5 %]
12. Alespoň jeden regulátor také musí dosáhnout nulové odchylky při skoku poruchy [10%].
13. Pro porovnání ukažte reakci systému alespoň na tyto signály: odezvu na skok reference, odezvu na skok poruchy působící na vstup soustavy (kuličky) a u obou uveďte i příslušný akční zásah. Nezapomeňte uvést i vstupní signál, je-li to možné. Zhodnoťte regulační část. [15 %]

KULIČKA NA TYČI

Principiální schéma modelu nacházejícího se v laboratoři K26 je na obr. 1.



Obr. 1 – Kulička na tyči

Jedná se o nelineární nestabilní systém s jedním vstupem:

- žádaná hodnota náklonu tyče $\alpha_{ref}[\text{rad}]$

a dvěma výstupy:

- skutečný úhel náklonu tyče α [rad],
- poloha kuličky x [cm].

Modelování

Rovnice servomotoru v modelu jsou:

$$\begin{aligned} L \frac{di(t)}{dt} &= -Ri(t) - k_e \omega(t) + k_p (\alpha_{ref}(t) - \alpha(t)) \\ J_m \frac{d\omega(t)}{dt} &= k_m i(t) - b\omega(t) \\ \frac{d\varphi(t)}{dt} &= \omega(t) \end{aligned}$$

kde $\alpha_{ref}[\text{rad}]$ je vstupní referenční náklon tyče, i [A] je proud motoru, ω [rad s^{-1}] je úhlová rychlost motoru, φ [rad] je úhel natočení hřídele motoru, R [Ω] je elektrický odpor motoru, L [H] je indukčnost motoru, J_m [kg m^2] je moment setrvačnosti motoru, b [N m s rad^{-1}] je

konstanta tření motoru, k_e [V s rad⁻¹] je elektrická konstanta motoru a k_m [N m A⁻¹] je mechanická konstanta motoru.

Pohyb kuličky po tyči je možné popsat rovnicí

$$\left(m + \frac{J_b}{r^2}\right)\ddot{x} = mg\sin(\alpha(t)) - b_k\dot{x} - \text{sign}(\dot{x})\xi_k \frac{mg}{r}$$

kde r [m] je poloměr, po kterém se kulička odvaluje a g [m s⁻²] je gravitační zrychlení. Koeficient b_k [s⁻¹] v sobě zahrnuje odpor prostředí úměrný rychlosti kuličky a koeficient ξ_k [m] představuje rameno valivého odporu. Moment setrvačnosti kuličky J_b [kg m²] se vypočte ze vztahu

$$J_b = \frac{2}{5}r^2m$$

, kde r [m] je poloměr kuličky.

Nezapomeňte, že motor obsahuje pásmo necitlivosti a rozsah vstupního signálu je omezen. Mezi úhlem φ a α je pevný převod $\alpha = k_\alpha \cdot \varphi$. Zpětné působení tyče (včetně kuličky) na motor zanedbejte.