

Vývoj laboratorního modelu pro demonstraci algoritmů automatického řízení – kyvadla na vozíku

Lubomír Kristek¹

1 Úvod

Kybernetika je multidisciplinární vědní disciplína, která se zabývá zkoumáním zákonitostí v technických, přírodních i společenských systémech a vztahy mezi nimi. Zmíněné zákonitosti jsou následně využité pro řízení zkoumaného systému. Pod pojmem řízení můžeme rozumět cílené ovlivňování, které dovede systém do požadovaného stavu.

Vývoj laboratorního modelu pro stabilizaci kyvadla na vozíku dává nahlédnout na široké spektrum oborů, které je nutné pro aplikaci kybernetiky obsáhnout. Namátkou se jedná o číslicové řídicí systémy, výkonovou elektroniku, matematicko-fyzikální modelování, tvorba algoritmů automatického řízení, programování průmyslových počítačů nebo vývoj webových aplikací.

2 Fáze vývoje modelu

Životní cyklus projektu vývoje kyvadla na vozíku lze rozdělit do fází: příprava hardwaru, výpočet stabilizačního algoritmu, návrh řízení modelu a vývoj ovládacího rozhraní.

Hardware soustavy obsahuje vozík spojený klínovým pásem s třífázovým asynchronním motorem a na vozíku kyvadlo na volné hřídeli. Cílem je vyhoupnout kyvadlo do horní vertikální polohy a udržet jej v této poloze.

Řízení zajišťuje průmyslová jednotka WinPAC opatřená vstupní kartou s čítačem a analogovou výstupní kartou. Do vstupní karty jsou připojeny výstupy z IRC snímače na kyvadle a elektromotoru. Analogová výstupní karta slouží pro nastavení požadovaných otáček motoru. Schéma je naznačené na obrázku 1a.

Zjednodušeně lze říci, že na základě počtu impulzů z IRC snímačů kontrolér určí úhel kyvadla a polohu vozíku. Z těchto dvou veličin vygeneruje akční zásah, který vyústí v pohyb vozíku. Přednostně je stabilizováno kyvadlo, když je pádu kyvadla zabráněno, vrací se vozík pomalu do výchozí polohy uprostřed kolejnice.

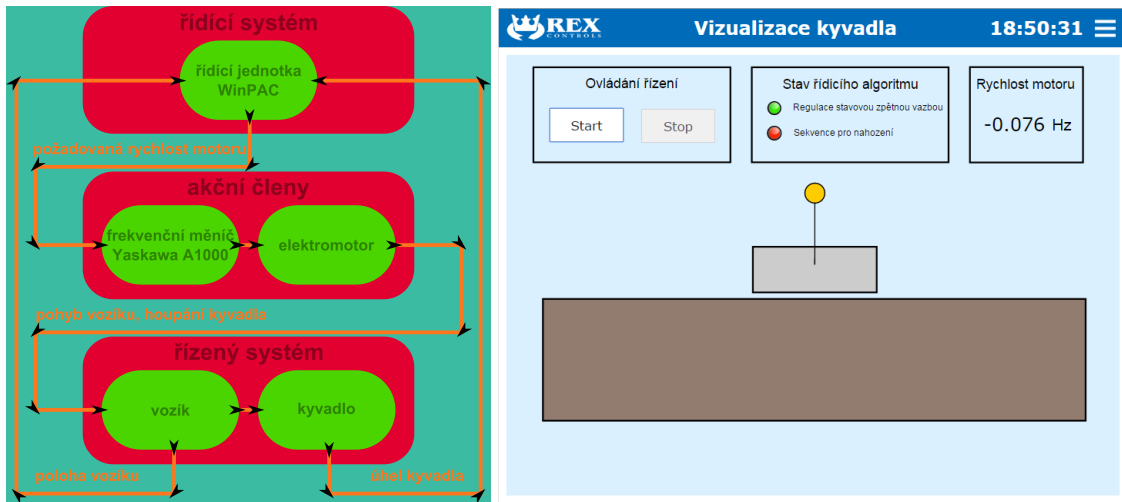
Výpočet **stabilizačního algoritmu** obnáší: matematické modelování soustavy, návrh požadovaného chování a nalezení vztahu pro přiřazení požadovaného stabilního chování systému.

Matematickým modelováním soustavy byla získána soustava diferenciálních rovnic prvního řádu. Linearizací v pracovním bodě byla získána stavová reprezentace $\dot{x} = Ax + Bu$:

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{mg}{M} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \frac{(M+m)g}{Ml} & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{M} \\ 0 \\ \frac{1}{Ml} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

kde m je hmotnost kyvadla, M hmotnost vozíku, g konstanta gravitačního zrychlení, l délka

¹ student navazujícího studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Kybernetika a řídicí technika, specializace Informační a řídicí systémy, e-mail: lubomir.kristek@email.cz



(a) Ilustrace hardwarového zapojení

(b) Ovládací rozhraní

závěsu kyvadla, x_1 poloha vozíku, x_2 rychlost vozíku, x_3 úhel naklonění kyvadla a x_4 úhlová rychlost kyvadla.

Protože stabilizace byla provedena formou lineární stavové zpětné vazby, zákon řízení hledáme ve tvaru $u = Fx$. Řízení má za cíl přiřadit soustavě stabilní póly $p_i = [-1, -2, -3, -4]$, tedy změnit chování systému na stabilní. Řešení spočívá v přiřazení Jordanovy formy stavovou zpětnou vazbou. Požadavek na chování systému lze formulovat také jako: $A + BF = TLT^{-1}$, kde L je matice požadované formy. Rovnici $A + BF = TLT^{-1}$ můžeme tedy přepsat jako $AT - TL + BH = 0$, kde $H = FT^{-1}$. Rovnice $AT - TL + BH = 0$ pak může být řešena v programu MATLAB příkazy:

```
H=rand(1,4);
X=lyap(A,-L,B*H);
F=H*inv(X);
```

Tento postup vede na koeficienty zpětné vazby $F = [3.3598, 6.9995, -74.0653, -18.0727]$. Získaný zákon řízení, který stabilizuje kyvadlo v horní vertikální poloze bude mít tvar:

$$U = [3.3598 \quad 6.9995 \quad -74.0653 \quad -18.0727] \cdot x \quad (2)$$

Návrh řízení modelu obsahuje kromě již nalezeného stabilizačního mechanismu sekvenci pro nahození kyvadla, ošetření mezních stavů a soubor logických kombinačních pravidel pro snadnou obsluhu pomocí tlačítek „Start“ a „Stop“. Řídicí algoritmus lze rozdělit do tří stavů: *Klidový stav*: na výstupu algoritmu je 0, slouží pro bezpečné uvedení do provozu a shození kyvadla.

Nahazování: po stisku „Start“ je na výstup algoritmu generován nahazovací sinusový signál s frekvencí rovnou rezonanční frekvenci systému. Nahazování je ukončeno automaticky pro zapnutí regulace, nebo ručně tlačítkem „Stop“ ve vizualizaci.

Regulace: do tohoto stavu se algoritmus přepne ze stavu nahazování po tom, co kyvadlo překročí meze pro aktivaci regulace. V tomto stavu je na soustavu působeno podle nalezeného předpisu řízení $u = Fx$. Algoritmus ve stavu regulace setrvá do stisku tlačítka „Stop“, nebo dokud není kyvadlo silou či poruchou vyhozeno mimo regulační meze ($\pm 10^\circ$).

Ovládací rozhraní je řešeno formou interaktivní webové stránky. Jsou přítomna tlačítka „Start“ a „Stop“ pro ovládání, indikace stavu řízení (nahazování/stabilizace), rychlost otáčení motoru a grafická reprezentace polohy vozíku a natočení kyvadla (obrázek 1b).