

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Projekt 4

KKY – *PRJ4*

Řízení 2DoF modelu helikoptéry pomocí MPC

Autor:

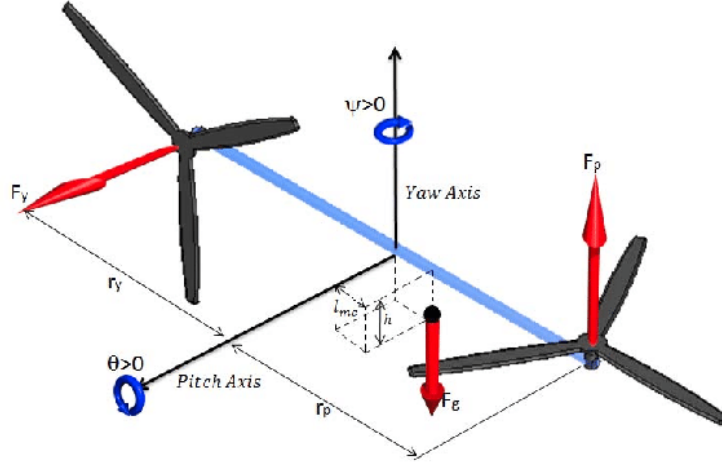
Šmíd Matěj

23.7.2020



**FAKULTA
APLIKOVANÝCH VĚD
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**

1 2DoF model helikoptéry

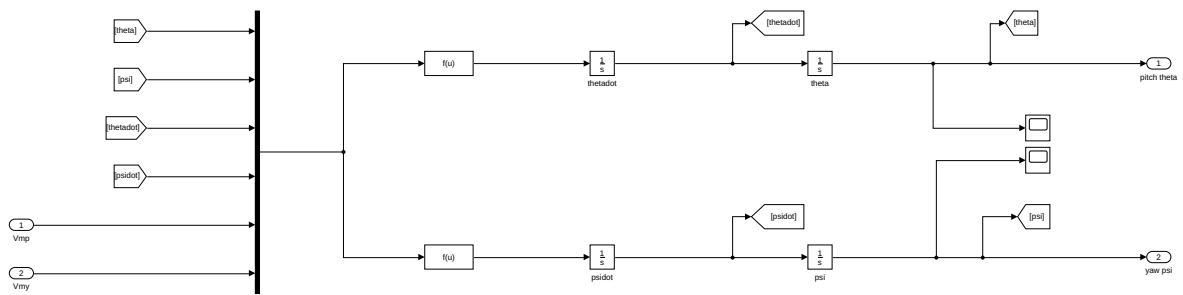


2DoF model helikopréty je popsaný následujícími nelineárními pohybovými rovnicemi:

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{(h^2 + l_{mc}^2).m + J_{eqp}} \cdot (2.m.(h.l_{mc}.\cos(\theta(t)))^2 + \sin(\theta(t)).(\frac{h^2}{2} - \frac{l_{mc}^2}{2}).\cos(\theta(t)) - \frac{h.l_{mc}}{2}).\dot{\psi}(t)^2 - \cos(\theta(t)).g.l_{mc}.m - \sin(\theta(t)).g.h.m + K_{pp}.V_{mp}(t) + K_{py}.V_{my}(t) - B_p.\dot{\theta}(t) + F_{cpy} + F_{cpp}) \quad (1)$$

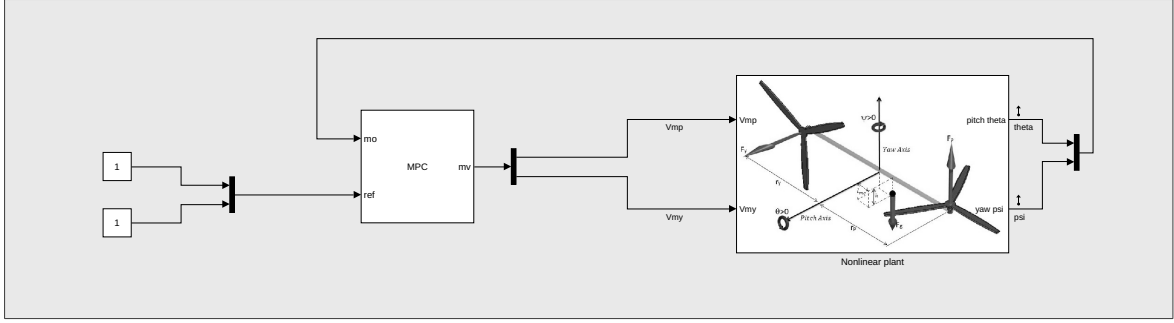
$$\ddot{\psi} = \frac{1}{m.(h^2 - l_{mc}^2).\cos(\theta(t))^2 - 2.\sin(\theta(t)).h.m.l_{mc}.\cos(\theta(t)) - h^2.m - J_{eqy}} \cdot (2.(2.h.l_{mc}.\cos(\theta(t)))^2 + \sin(\theta(t)).(h^2 - l_{mc}^2).\cos(\theta(t)) - h.l_{mc}).m.\dot{\theta}(t) + B_y).\dot{\psi}(t) - \cos(\theta(t)).(K_{yy}.V_{my}(t) + K_{yp}.V_{mp}(t) + F_{cyp} + F_{cyy})) \quad (2)$$

Rovnice jsme implementovali v Simulinku jako subsystem:



Obrázek 1: Simulink schéma nelineární soustavy rovnic popisující dynamiku 2DoF helikoptéry

Tento subsystém jsme poté zapojili do zpětné vazby s MPC controllerem, viz schéma



Obrázek 2: Simulink schéma zapojení MPC controlleru s nelineárním modelem 2DoF helikoptéry

Pomocí Linear Analysis Tool Matlabu jsme numericky našli ustálený stav systému (trim point) takový, aby $\theta = 0$:

$$\begin{bmatrix} \psi & \dot{\psi} & \theta & \dot{\theta} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} V_{mp} & V_{my} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} -62.36 & -99.91 \end{bmatrix}^T \quad (4)$$

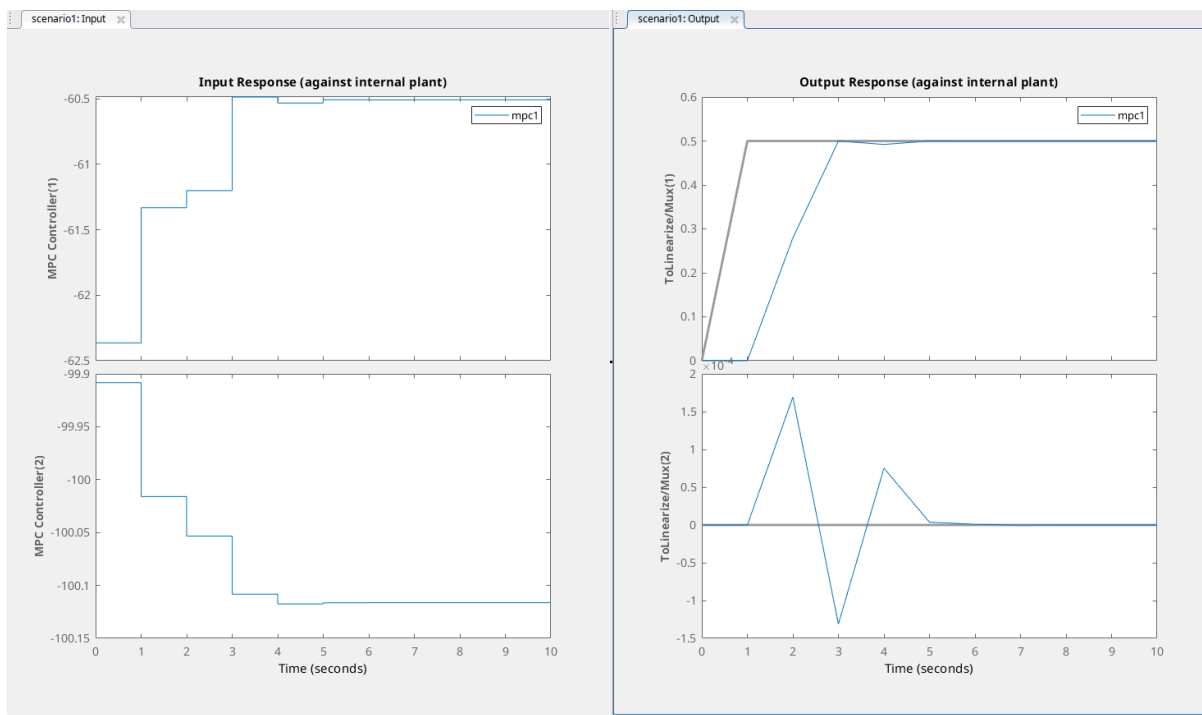
Získaný lineární model má tvar:

$$\begin{bmatrix} \dot{\psi} \\ \ddot{\psi} \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -22.82 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -2.90 & -0.39 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi \\ \dot{\psi} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0.056 & 0.5015 \\ 0 & 0 \\ 0.79 & 0.056 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{mp} \\ V_{my} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi \\ \dot{\psi} \\ \theta \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

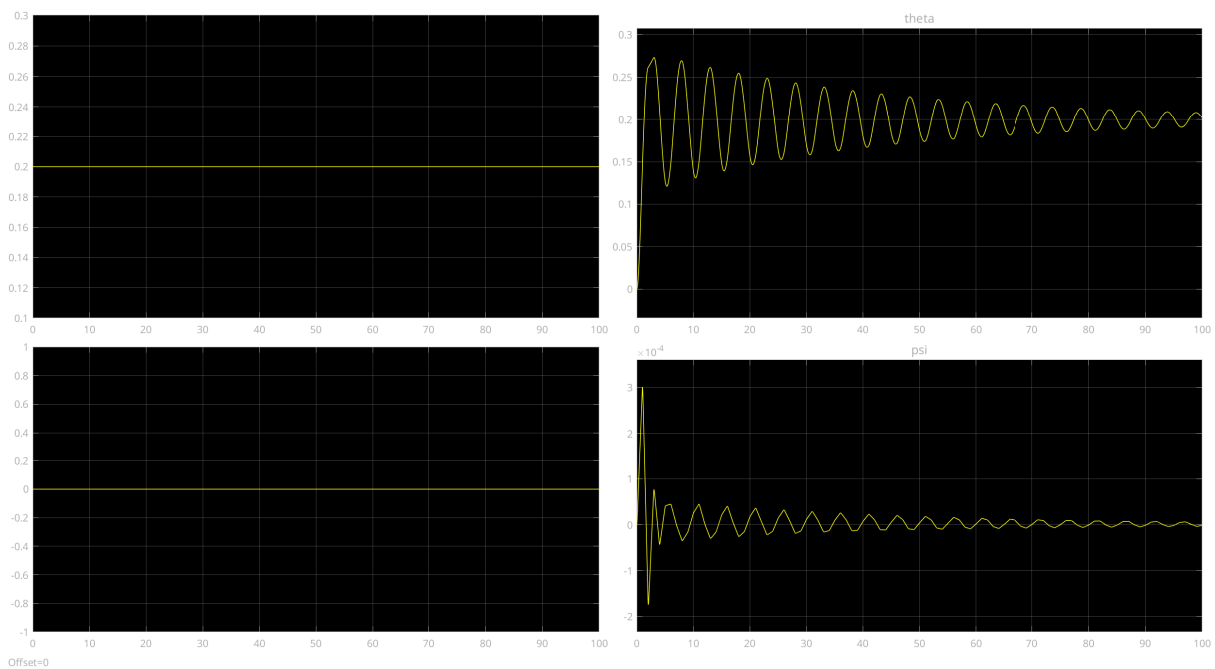
Vlastní čísla tohoto systému jsou 0 ; -22.8191 ; $-0.1979 + 1.6921i$; $-0.1979 - 1.6921i$. Systém je tedy ve vypočteném ustáleném stavu na mezi stability. Tento lineární model jsme použili jako interní model systému pro MPC

regulátor. Transient response time lineárního modelu je zhruba 30s. Sample time MPC regulátoru jsme tedy nastavili na 1s, abychom dosáhli doporučení deseti sampleů za rise time. Prediction horizon jsme nastavili na 20, abychom dosáhli doporučené předpovědi dvaceti sampleů v transient response time. Control horizon jsme nastavili na 3, abychom splnili doporučení 10 – 20% z prediction horizon.

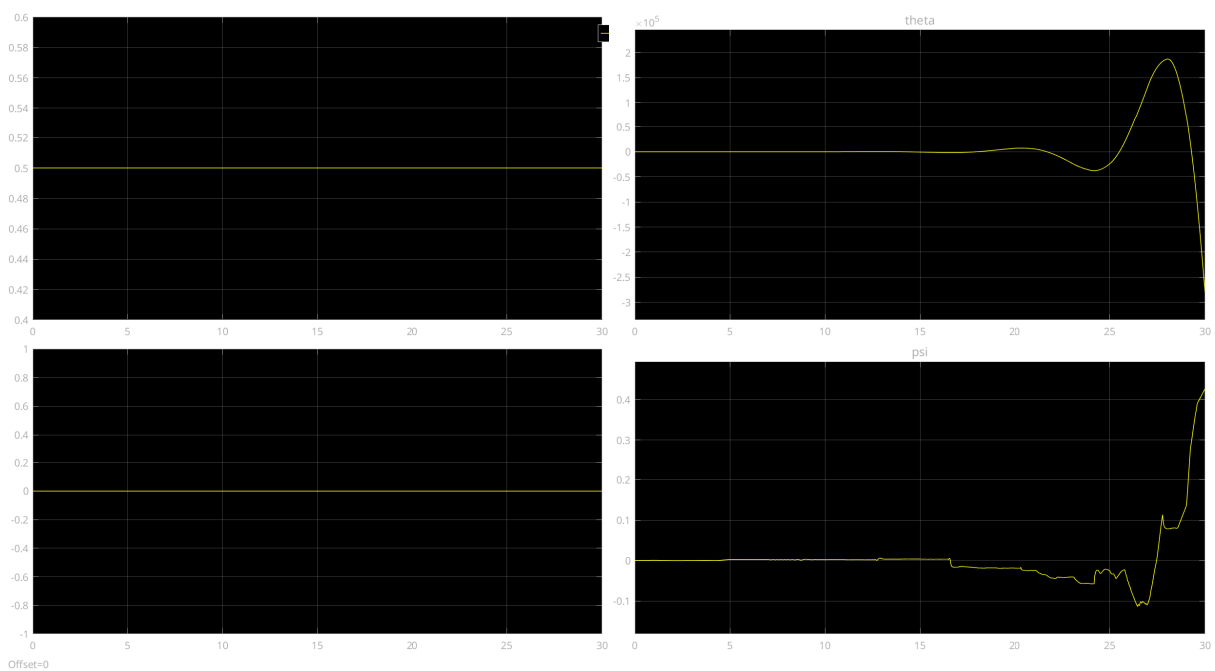


Obrázek 3: Odezva lineárního systému interně vypočítaná v MPC regulátoru na skokovou změnu $\theta = 0 \rightarrow \theta = 0.5$

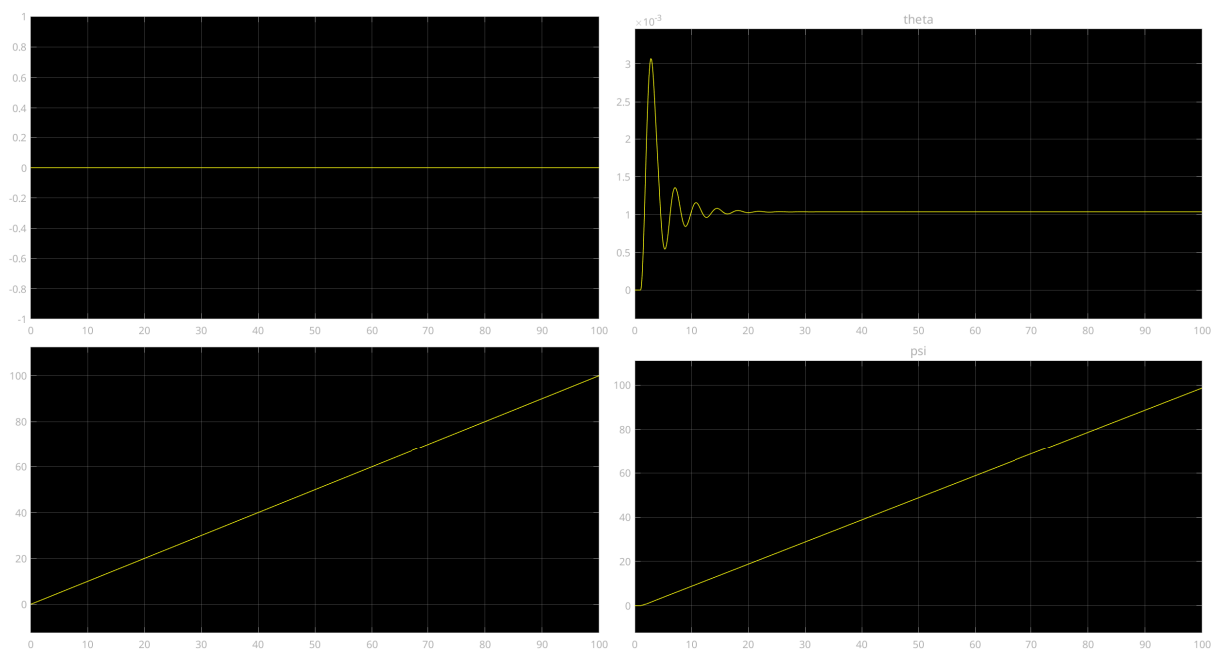
Získaný MPC regulátor jsme zapojili do regulační smyčky s původním nelineárním systémem a testovali jsme jeho validitu na různých referenčních signálech.



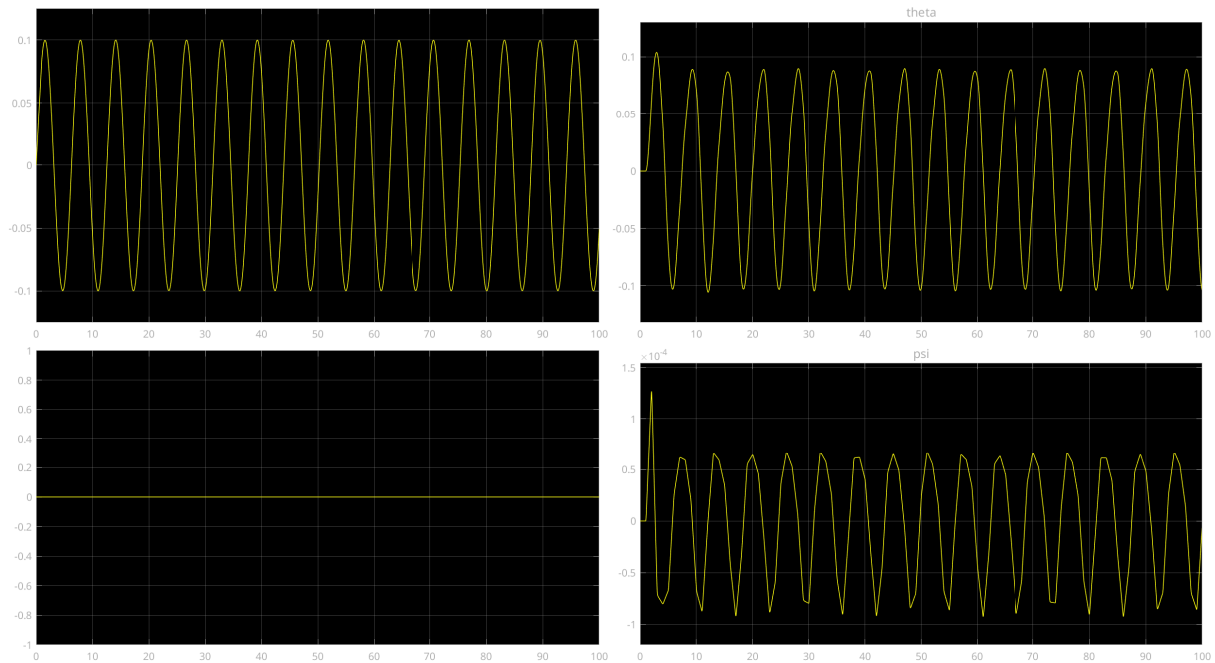
Obrázek 4: Nelineární systém regulovaný navrženým MPC regulátorem špatně reguluje požadovanou hodnotu $\theta > 0.2$



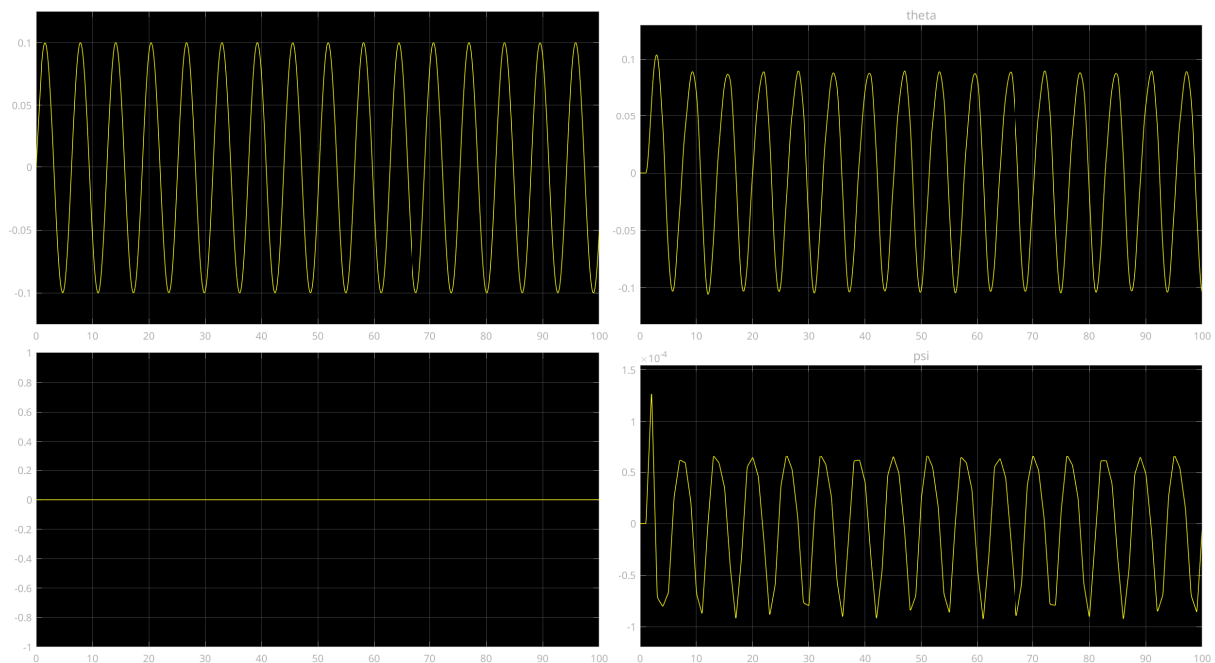
Obrázek 5: Pro $\theta = 0.5$ MPC regulátor rozkmitá nelineární systém do nestability



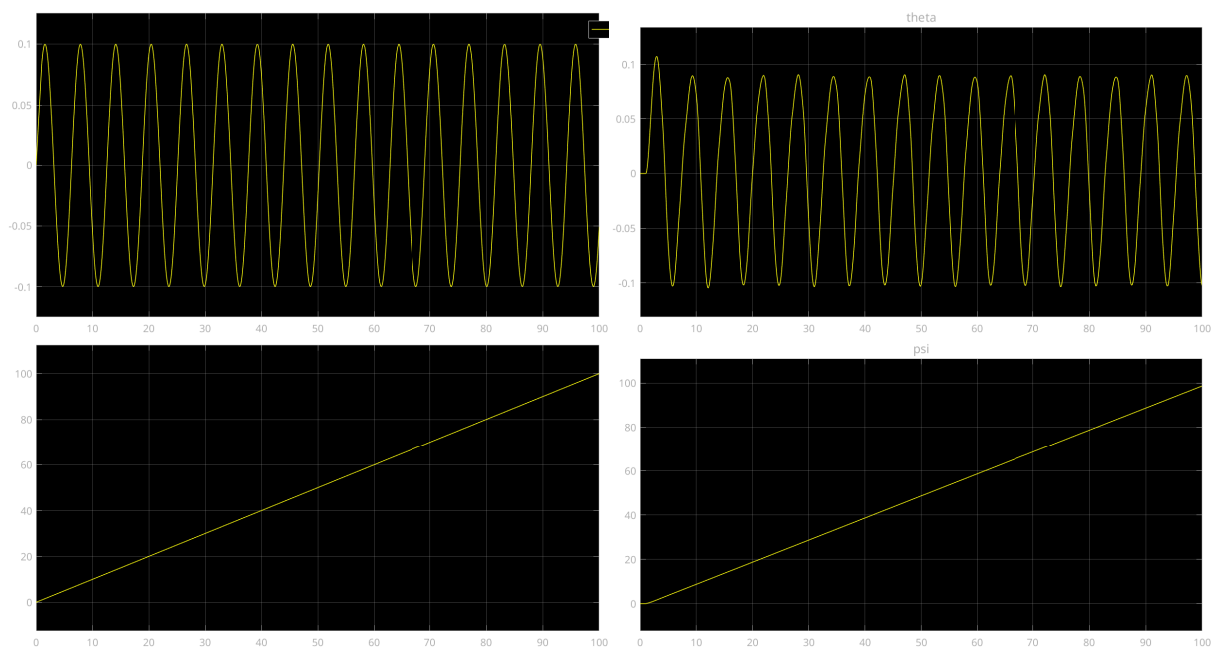
Obrázek 6: MPC regulátor je schopen zajistit sledování libovolné referenční hodnoty pro stav ψ



Obrázek 7: MPC regulátor je schopen zajistit sledování libovolné referenční hodnoty pro stav θ na omezeném výstupním intervalu



Obrázek 8: MPC regulátor je schopen zajistit sledování libovolné referenční hodnoty pro stav θ na omezeném výstupním intervalu



Obrázek 9: MPC regulátor je schopen zajistit sledování navzájem se ovlivňujících požadavků v MIMO systému.