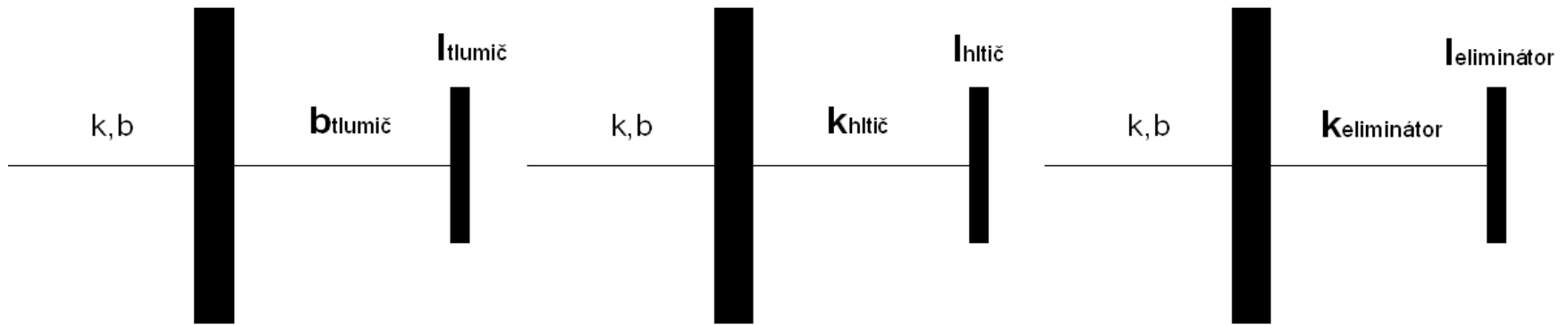


Prezentace diplomové práce

Návrh řízení torzního magnetoreologického hltiče

Michal Mikulec

Principy snižování torzních vibrací

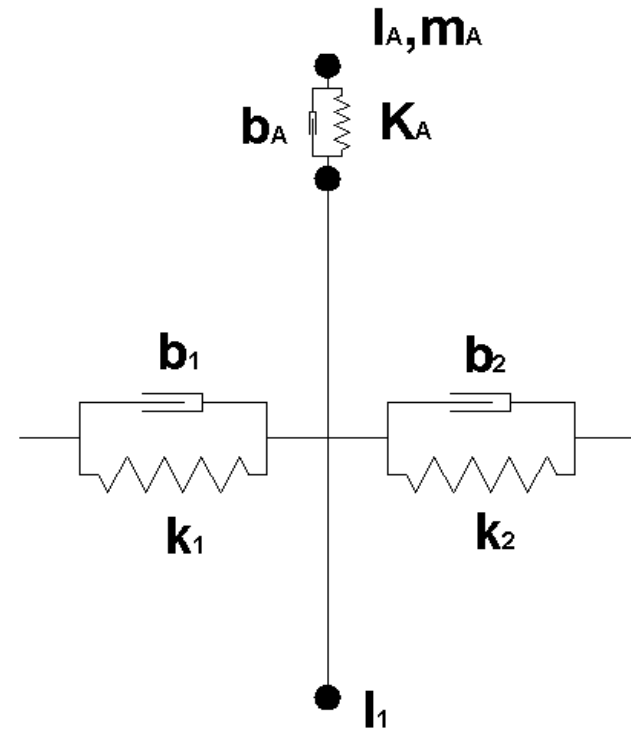
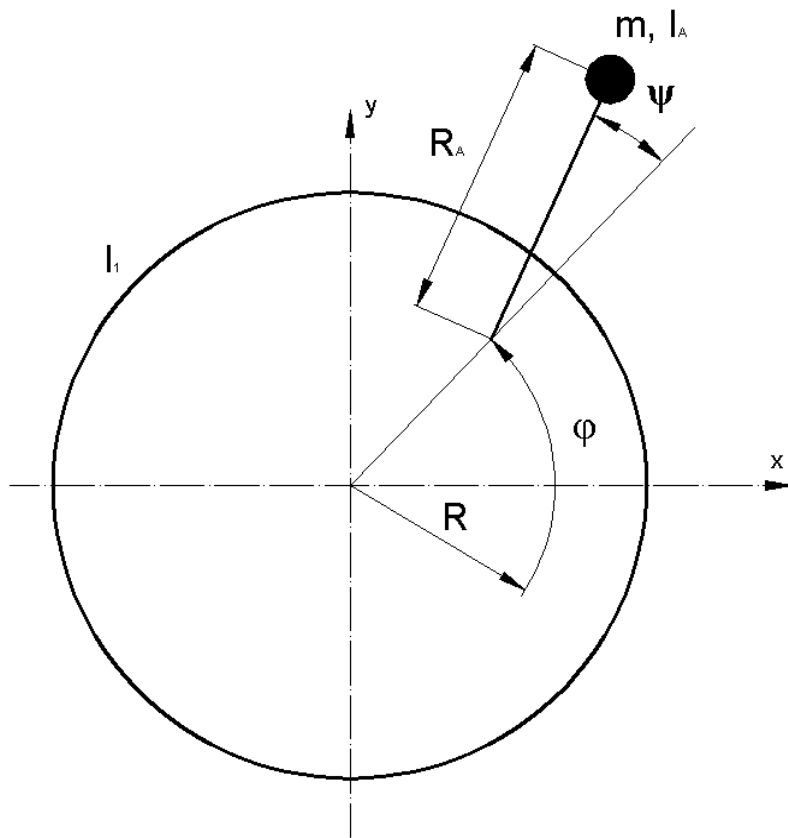


- Přídavné tlumení
- Absorpce vibrací
- Vibrokompenzace

Cíle práce:

- 1) Návrh a implementace aktivního a poloaktivního řízení tlumení torzních vibrací
- 2) Sestavení nelineárního modelu a jeho poloaktivní řízení
- 3) Sestavení zjednodušeného modelu tlumení torzních vibrací s užitím magnetoreologického tlumiče
- 4) Návrh konceptu bezdotykového řízení torzního magnetoreologického tlumiče

Geometrické a diskrétní schéma torzního hltiče



Sestavení matematického modelu

Lagrangeovy rovnice druhého druhu

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial q_j} + \frac{\partial E_p}{\partial q_j} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_j} = M_j$$

q_j - zobecněné souřadnice (Δ , ψ)

$$E_{k_{celk}} = \sum_i E_{k_i} = E_{k_{prim.soustavy}} + E_{k_{hltiče}}$$

Pohybové rovnice a jejich linearizace

Zavedením: $\Delta = \varphi - \omega_0 t$

$$\begin{bmatrix} I_1 + n(I_A + m(R^2 + R_A^2 + 2RR_A \cos \psi)) & n(I_A + m(R_A^2 + RR_A \cos \psi)) \\ n(I_A + m(R_A^2 + RR_A \cos \psi)) & n(I_A + mR_A^2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\Delta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 + b_2 & 0 \\ 0 & nb_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\Delta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & 0 \\ 0 & nk_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -nmRR_A(2\dot{\varphi}\dot{\psi} + \dot{\psi}^2) \\ nmRR_A\dot{\varphi}^2 \end{bmatrix} \cdot \sin \psi = \begin{bmatrix} M_1 \\ nM_A \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} I_1 + n(I_A + m(R^2 + R_A^2 + 2RR_A)) & n(I_A + m(R_A^2 + RR_A)) \\ n(I_A + m(R_A^2 + RR_A)) & n(I_A + mR_A^2) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{\Delta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 + b_2 & 0 \\ 0 & b_A \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\Delta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & 0 \\ 0 & nk_A + nmRR_A\omega_0^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_1 \\ nM_A \end{bmatrix}$$

Transformace na stavový model

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t)$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}\mathbf{u}(t)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{(k_1+k_2)}{XX} & -\frac{(b_1+b_2)}{XX} & \frac{(nk_A + nmRR_A\omega_0^2)}{XX} \frac{Y}{V} & \frac{nb_A}{XX} \frac{Y}{V} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{(k_1+k_2)}{YY} \frac{U}{X} & \frac{(b_1+b_2)}{YY} \frac{U}{X} & -\frac{(nk_A + nmRR_A\omega_0^2)}{YY} & -\frac{nb_A}{YY} \end{bmatrix} \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{XX} & -\frac{n}{XX} \frac{Y}{V} \\ 0 & 0 \\ -\frac{1}{YY} \frac{U}{X} & \frac{n}{YY} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} \Delta & \dot{\Delta} & \psi & \dot{\psi} \end{bmatrix}^T \quad \mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} M_1 & M_A \end{bmatrix}^T$$

Naladění hltiče

- Zjednodušená rovnice hltiče

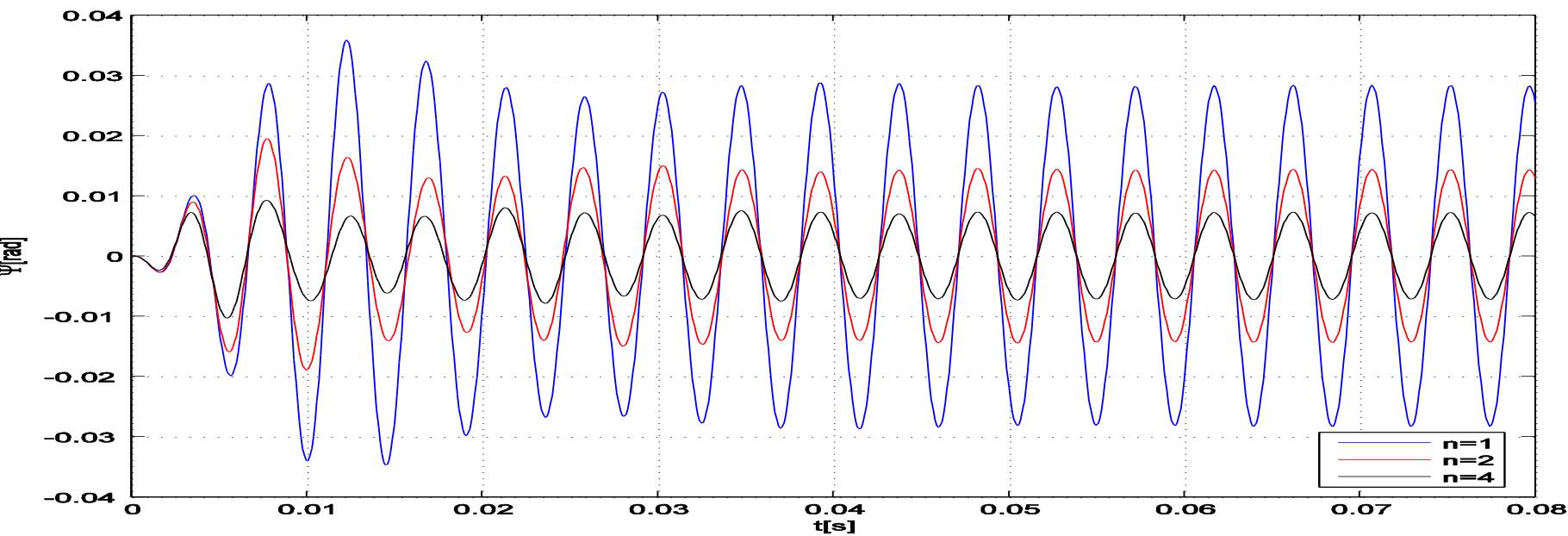
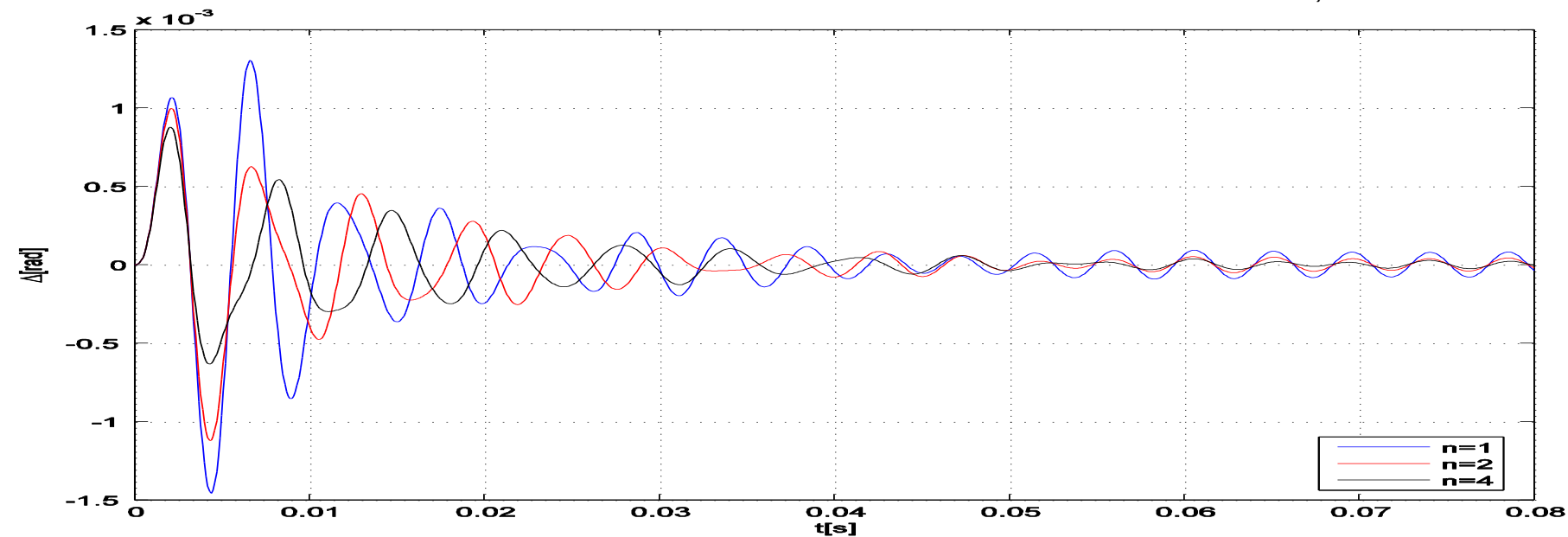
$$n(I_A + mR_A^2)\ddot{\psi} + nb_A\dot{\psi} + n(k_A + mRR_A\omega_0^2)\psi = nM_A$$

$$\Omega_A = \sqrt{\frac{k_A + mRR_A\omega_0^2}{I_A + mR_A^2}} \longrightarrow \Omega_A = \sqrt{\frac{R}{R_A}}\omega_0 \quad + \quad \Omega_A = 2\omega_0$$

$$\downarrow$$
$$R = 4R_A$$

Pasivní chování hltiče

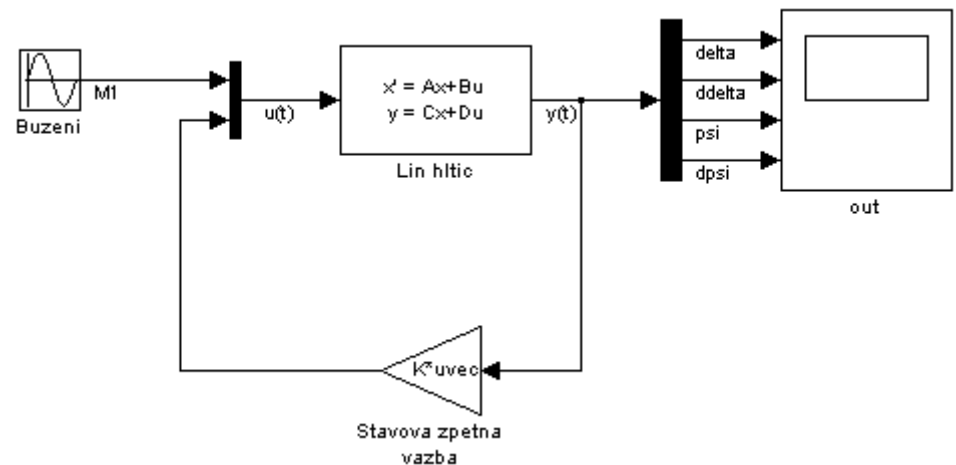
$\omega_0=700\text{rad/s}$; $\omega_{\text{buz}}=1400\text{rad/s}$



Návrh lineárního zpětnovazebního řízení

$$\mathbf{u} = -\mathbf{K}\mathbf{x} \longrightarrow \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}$$

$$\Rightarrow \dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{B}\mathbf{K})\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{w}$$



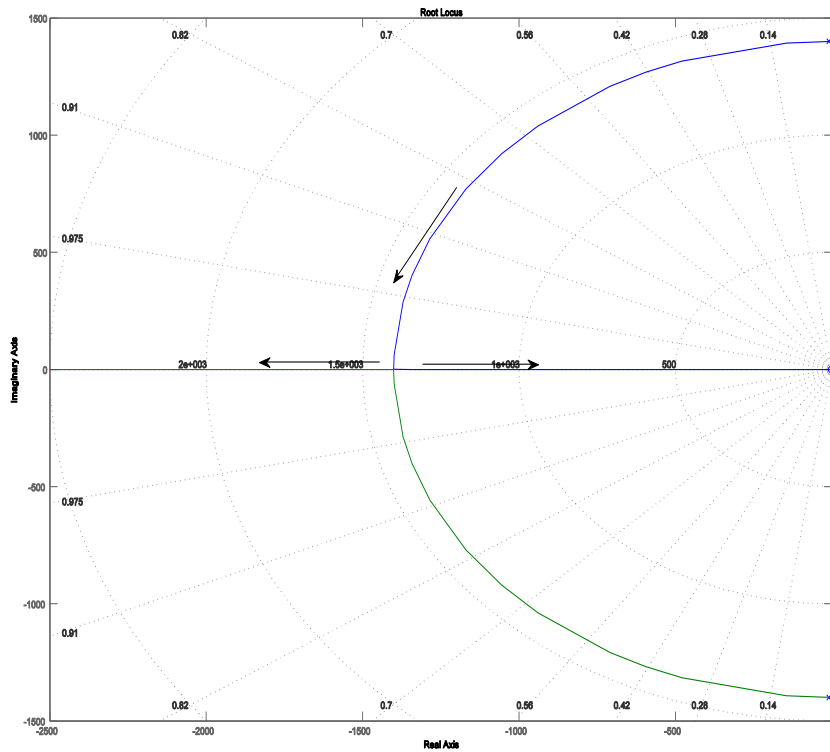
Dva přístupy:

a) přímou změnou pólů kyvadélka

b) LQR $Q = \text{diag}(1e13 \ 8e4 \ 0.01 \ 0.01)$; $R = 1$

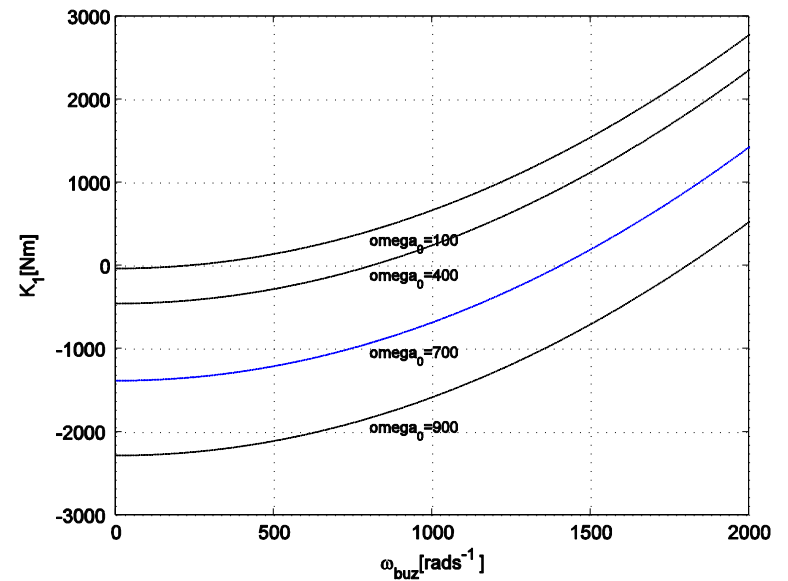
Návrh řízení přímou změnou pólů kyvadélka

$$M_A = -K_1\psi - K_2\dot{\psi} \longrightarrow (I_A + mR_A^2)s^2 + b_A s + mRR_A\omega_0^2 + K_1 + K_2s = 0$$



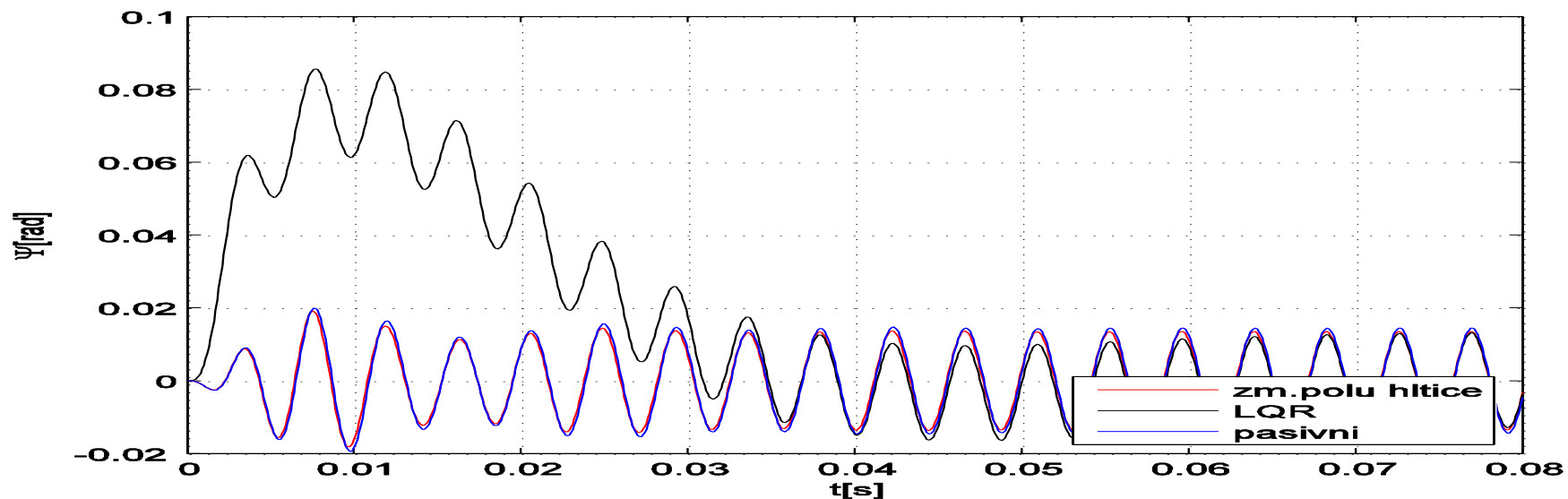
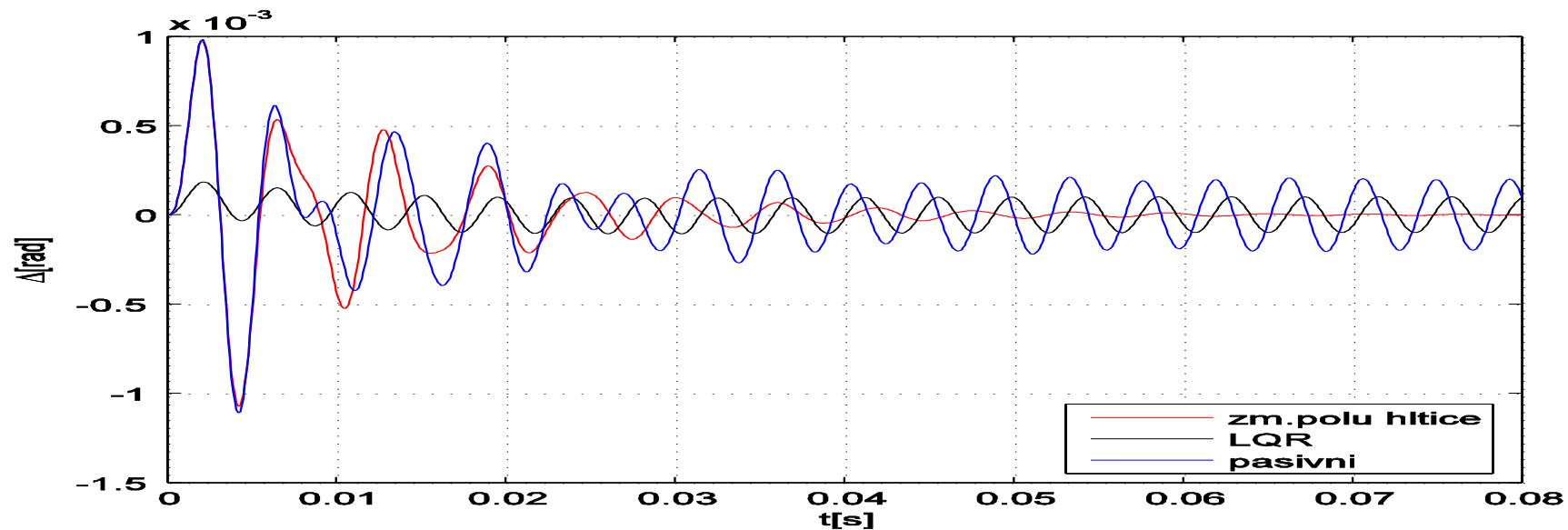
$$K_1 = (I_A + mR_A^2) \cdot \omega_{buz}^2 - (k_A + mRR_A\omega_0^2)$$

$$K_2 = -b_A$$



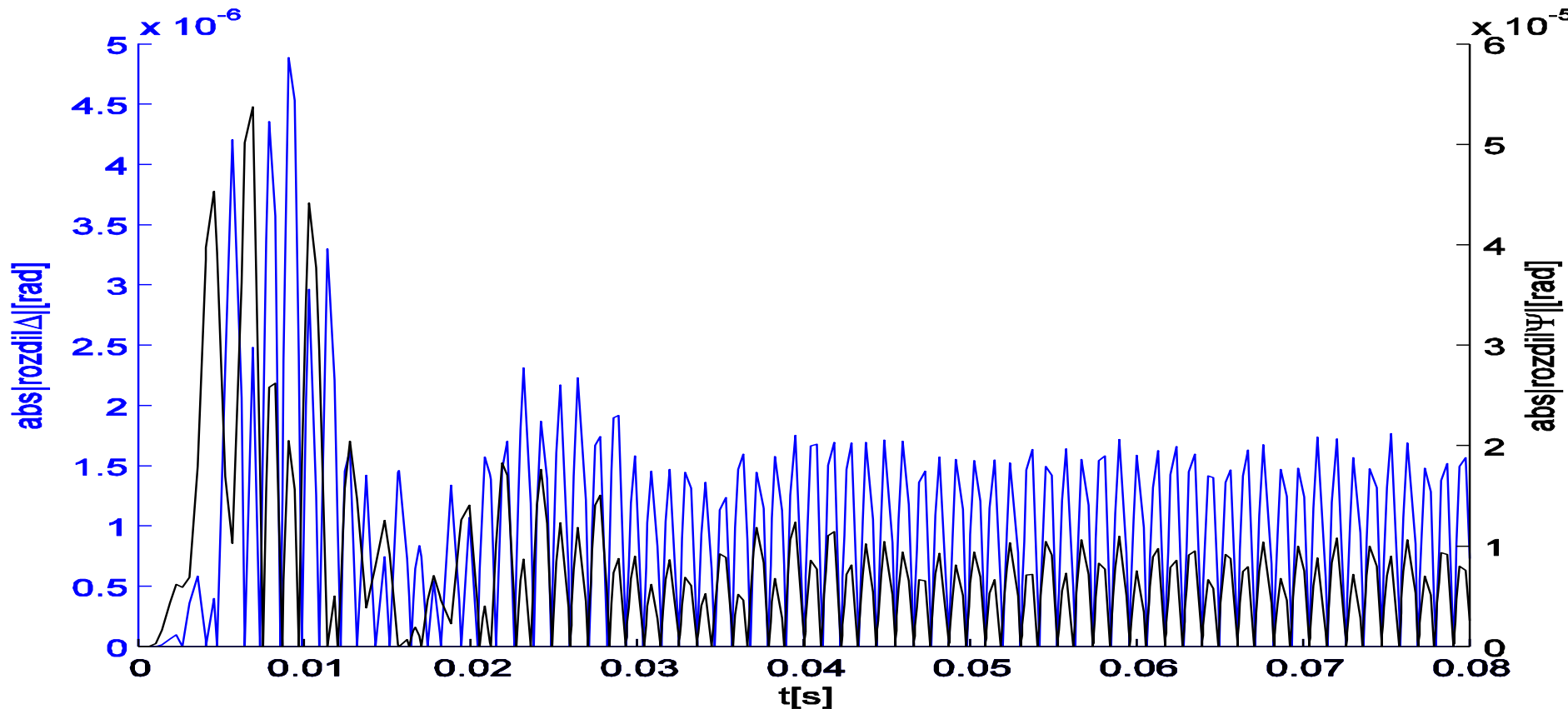
Lineární řízený hltič

$\omega_0=700\text{rad/s}$; $\omega_{\text{buz}}=1450\text{rad/s}$



Nelineární model

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \quad \mathbf{x}(t) = [\Delta \quad \dot{\Delta} \quad \psi \quad \dot{\psi}]^T \quad \mathbf{u}(t) = [M_1 \quad M_A]^T$$



Řízení nelineárního modelu

1) NQR $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{x} + \mathbf{g}(x)\mathbf{u}$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}) \longrightarrow \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}) + \mathbf{g}\mathbf{u}$$

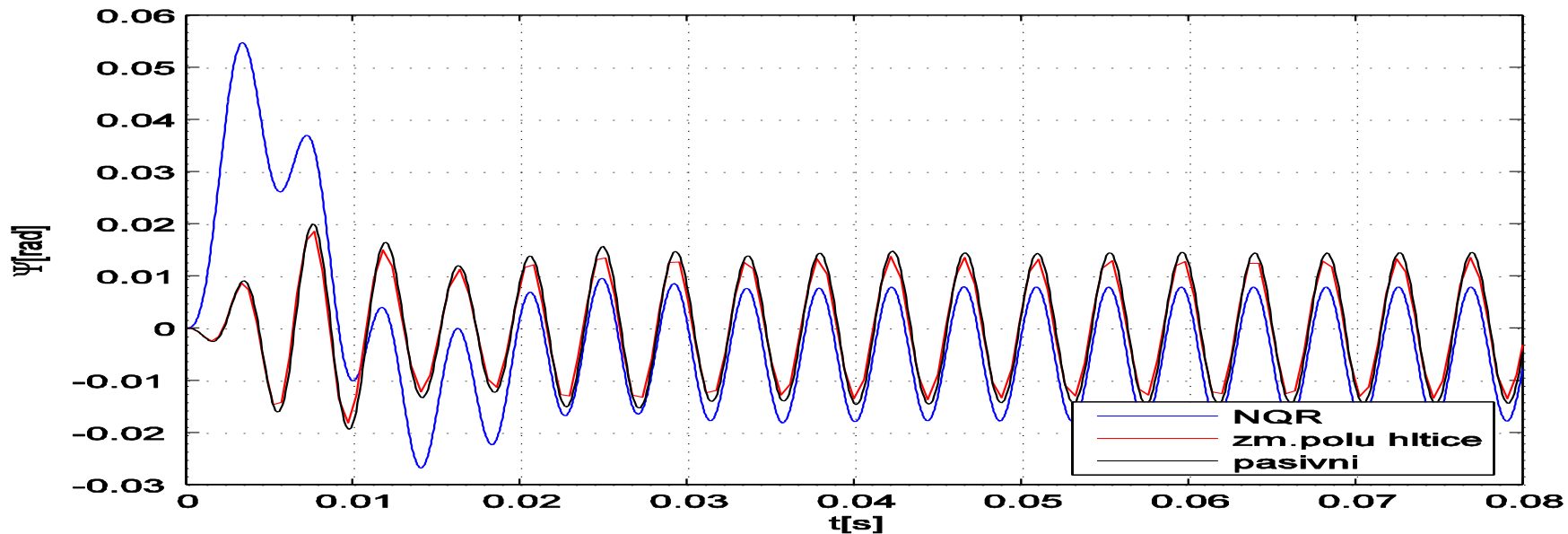
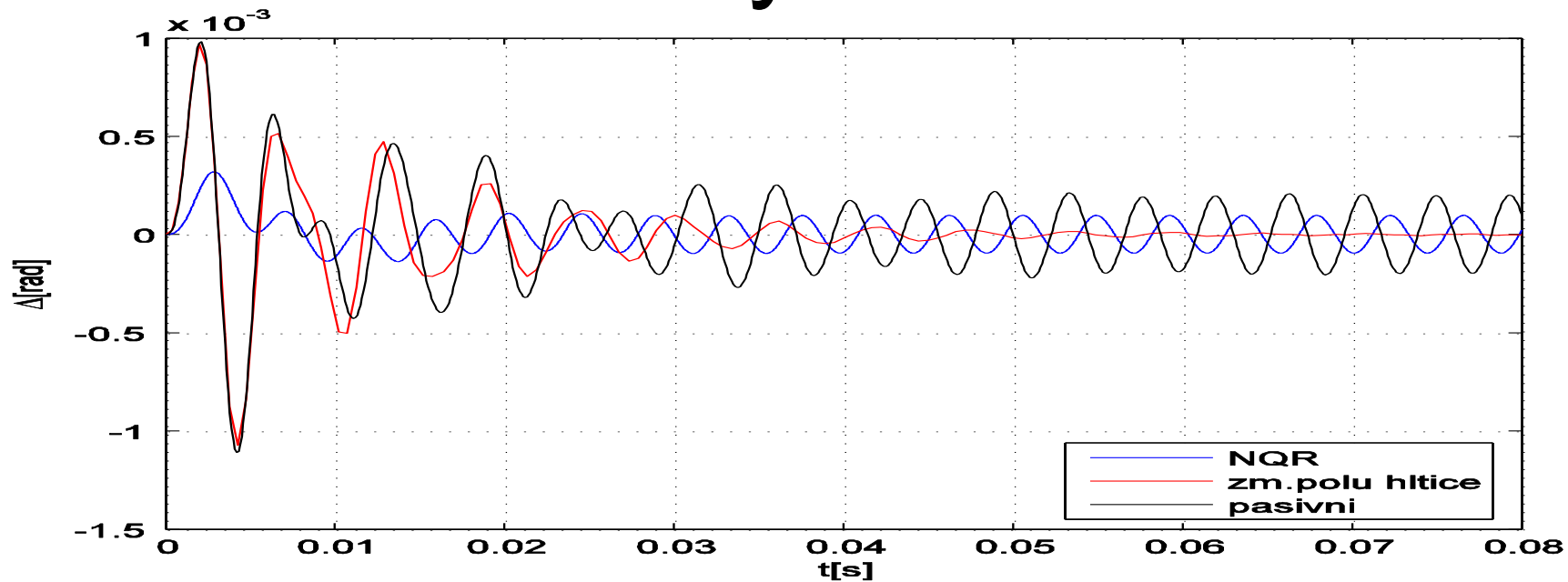
Dekompozice $\mathbf{f}(\mathbf{x}) \rightarrow \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{x}$

$$\mathbf{Q} = \text{diag}(1e8 \ 1e6 \ 0.01 \ 0.01) ; \mathbf{R}=1$$

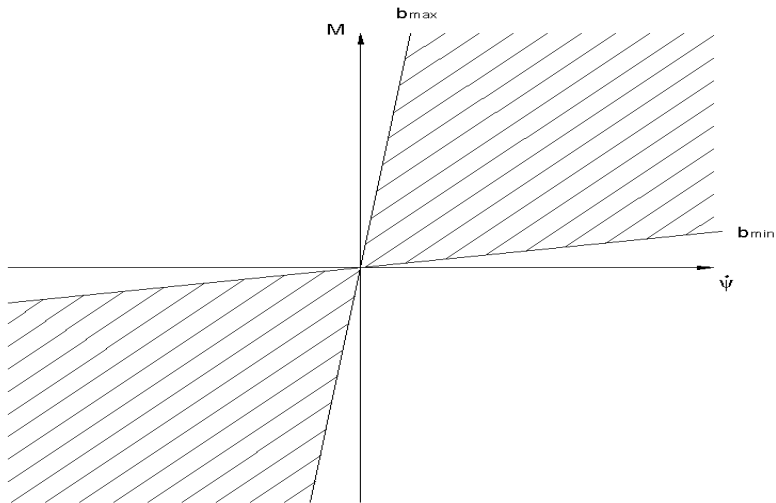
2) Lineární řízení

Nelineární řízený hltič

$\omega_0=700\text{rad/s}$; $\text{buz}=1450\text{rad/s}$



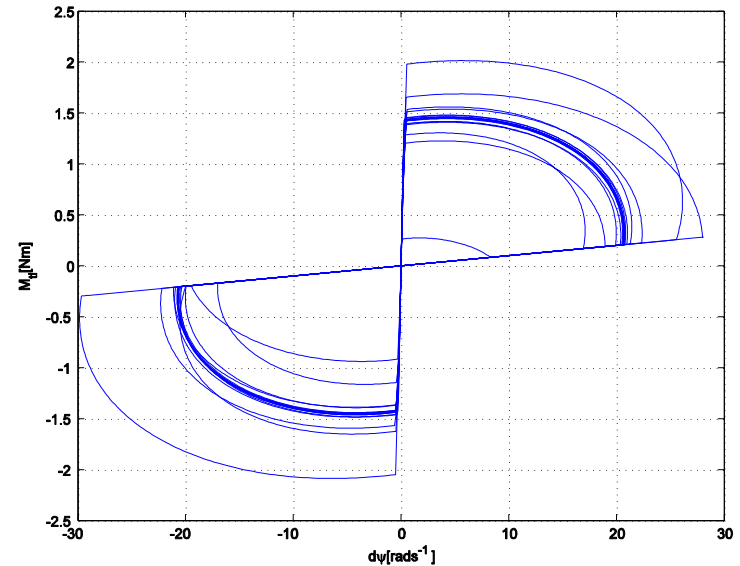
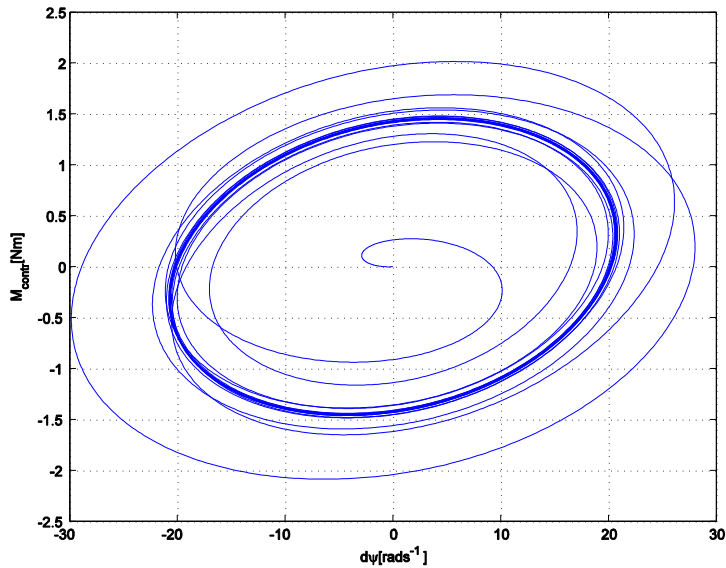
Návrh poloaktivního řízení



$$1) \quad M_{contr} \dot{\psi} > 0$$

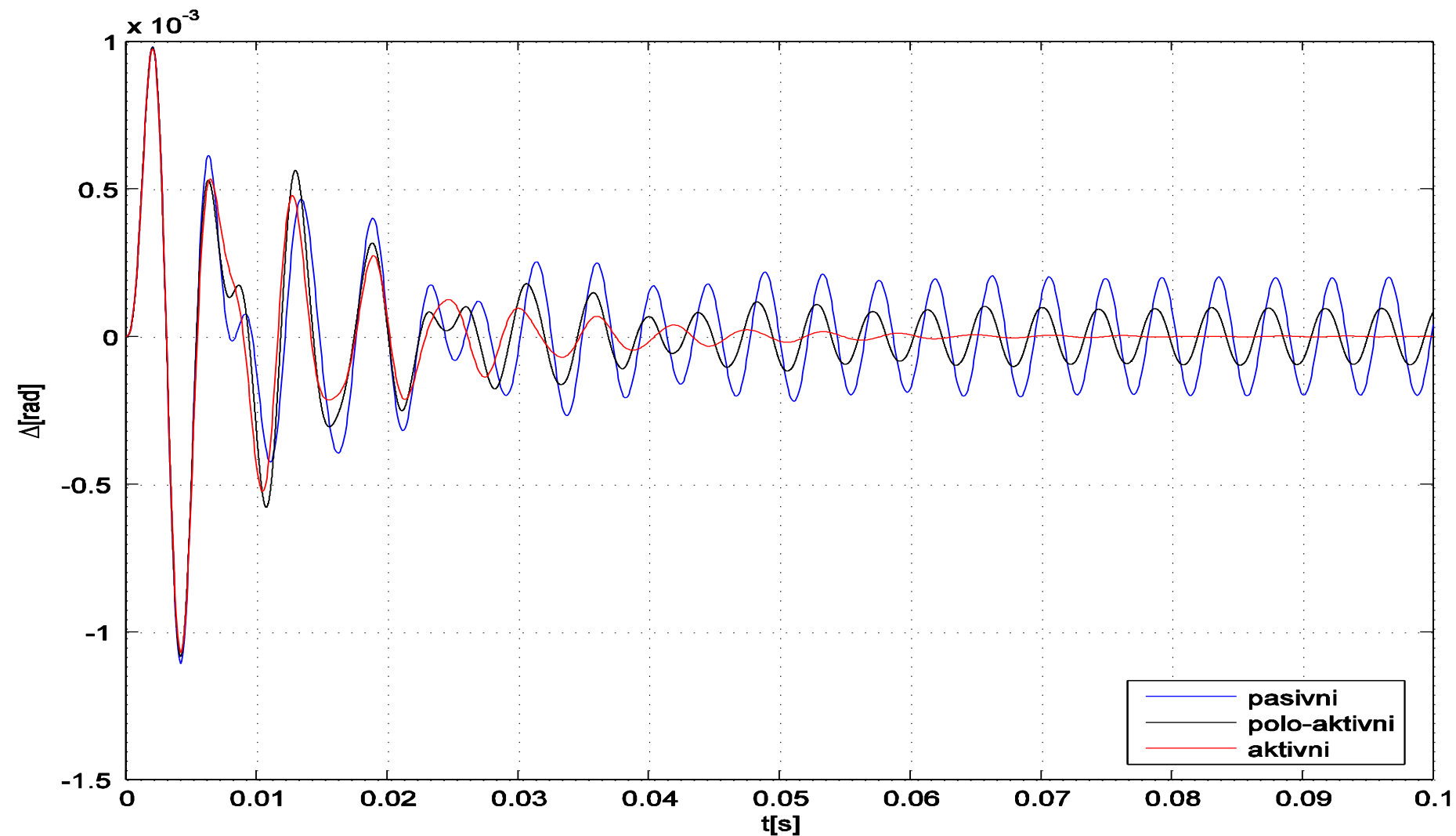
$$2) \quad \begin{array}{ll} \text{if } b_{max} > b_{tl} > b_{min} & b_{polo} = b_{tl} \\ \text{if } b_{max} < b_{tl} & b_{polo} = b_{max} \\ \text{if } b_{min} > b_{tl} & b_{polo} = b_{min} \end{array}$$

$$\Rightarrow \quad M_{polo} = b_{bolo} \dot{\psi}$$

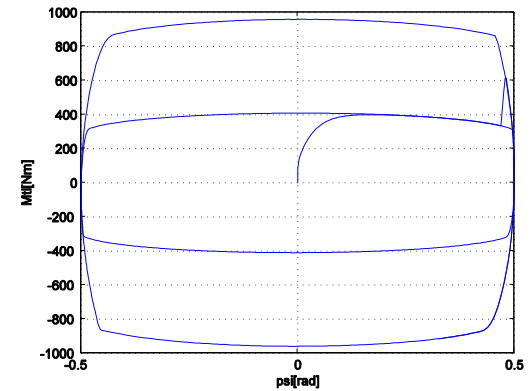
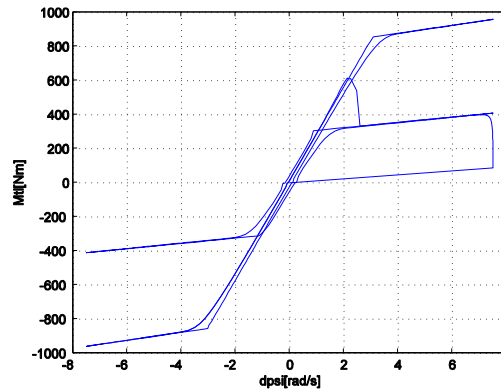
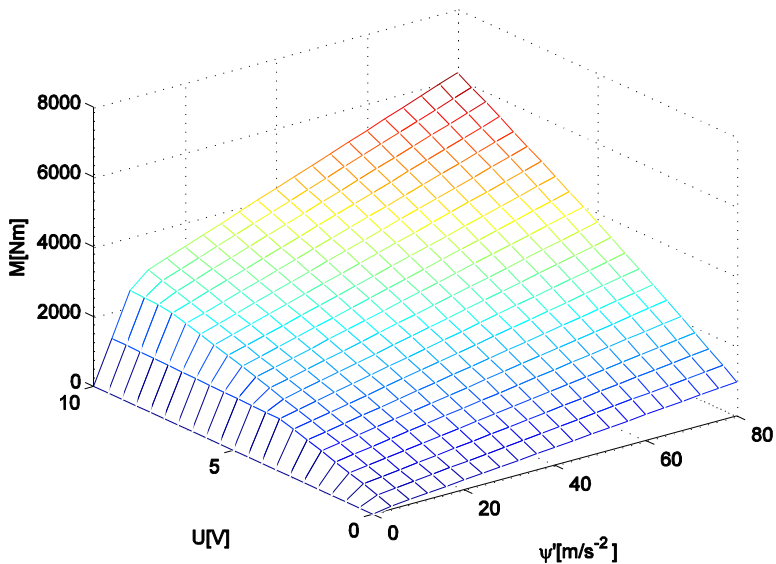
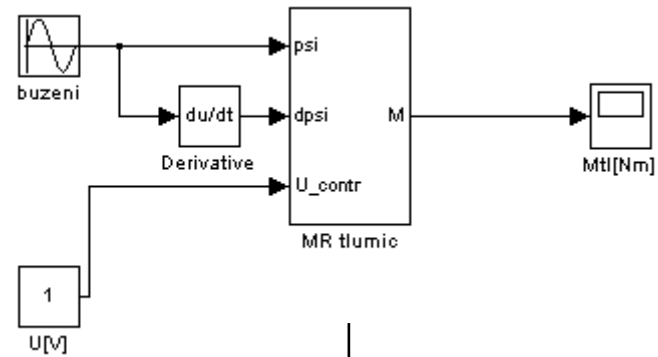
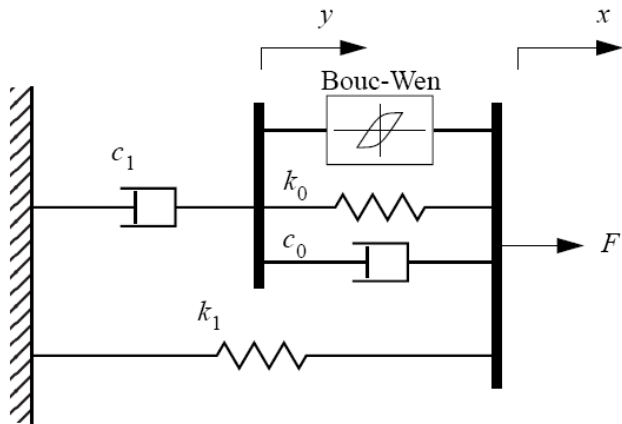


Poloaktivně řízený hltič

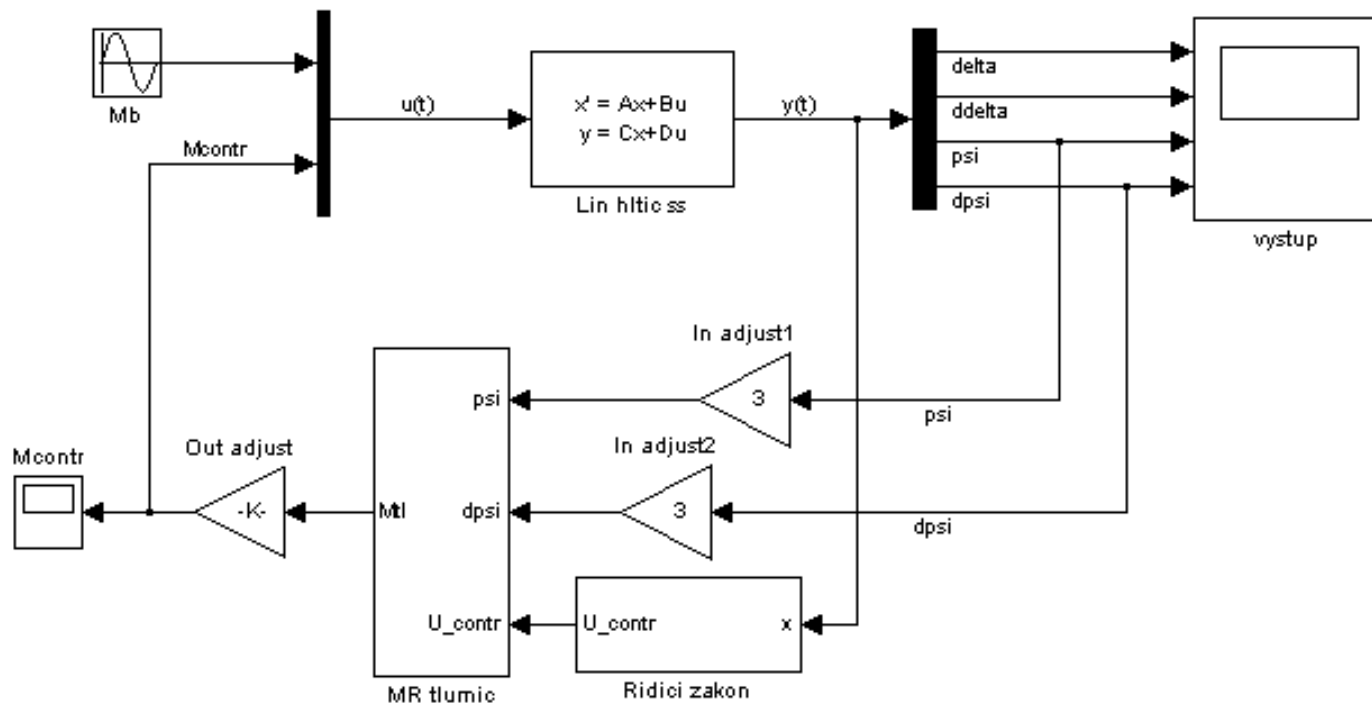
$\omega_0=700\text{rad/s}$; $\omega_{\text{buz}}=1450\text{rad/s}$



Magnetoreologický tlumič a jeho řízení

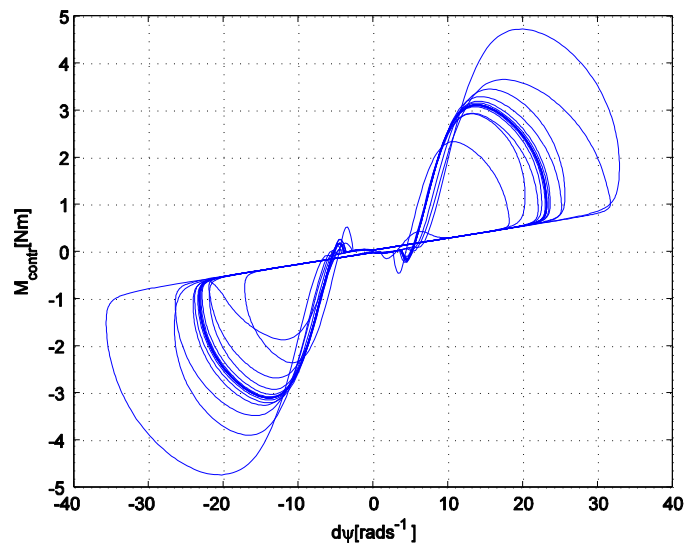
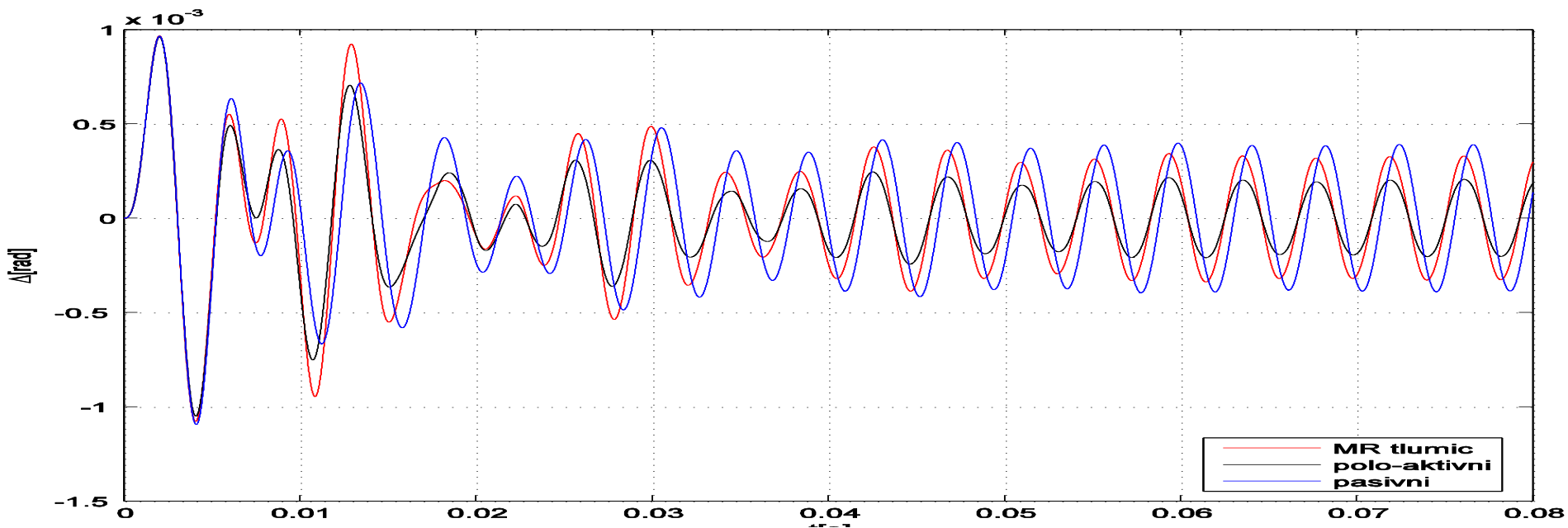


Syntéza hltiče s tlumičem



Řízený magnetoreologický hltič

$\omega_0=700\text{rad/s}$; $\omega_{\text{buz}}=1450\text{rad/s}$



Bezdotykové řízení torzního magnetoreologického hltiče

