

ŘÍZENÍ MODELU NEKÝVAVÉHO JEŘÁBU

Autor.: Lukáš Řápek

Vedoucí.: Ing. Jan Zavřel, Ph.D.

Obsah

- Úvod
- Úprava konstrukce stávajícího modelu
- Matematický popis modelu
- Odstranění problému kývání po ukončení pohybu
- Sestavení simulačních modelů
- Návrh řízení
- Aplikace na upravený laboratorní model

Úvod

Obvyklá manipulace s jeřábem bez inteligentního řízení

- kývání břemene
- dlouhé ustalování po dokončení pohybu
- obtížné přesné polohování
- zkušenost obsluhy

Manipulace s jeřábem s nekývavým řízením

- nekývavý pohyb břemene nezávislý na obsluze
- přesnější a rychlejší manipulace s břemenem
- urychlení práce, a tím snížení nákladů

Úprava konstrukce laboratorního modelu

Původní laboratorní model (řízeno D-Space):



Úprava konstrukce laboratorního modelu

- ⇒ pohon vozíku lankem nahrazen ozubeným řemenem
- ⇒ konstrukce nového uložení pro ozubené řemenice
- ⇒ konstrukce nového uchycení motorů a ložisek
- ⇒ konstrukce systému napínání řemene
- ⇒ pro pohon použity motory Maxon s převodovkou a incrementálním čidlem
- ⇒ přidány koncové spínače pojezdu vozíku
- ⇒ přidán ovládací panel jeřábu
- ⇒ nedílnou součástí modelu použita automatizace od firmy B&R

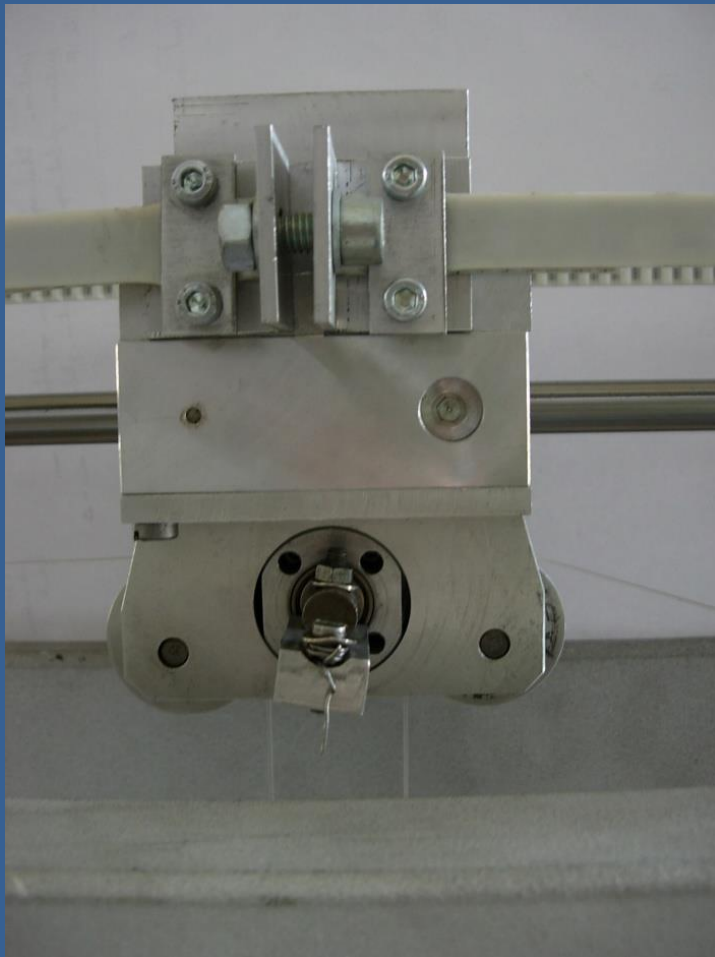
Úprava konstrukce laboratorního modelu

Model nové konstrukce (Inventor):

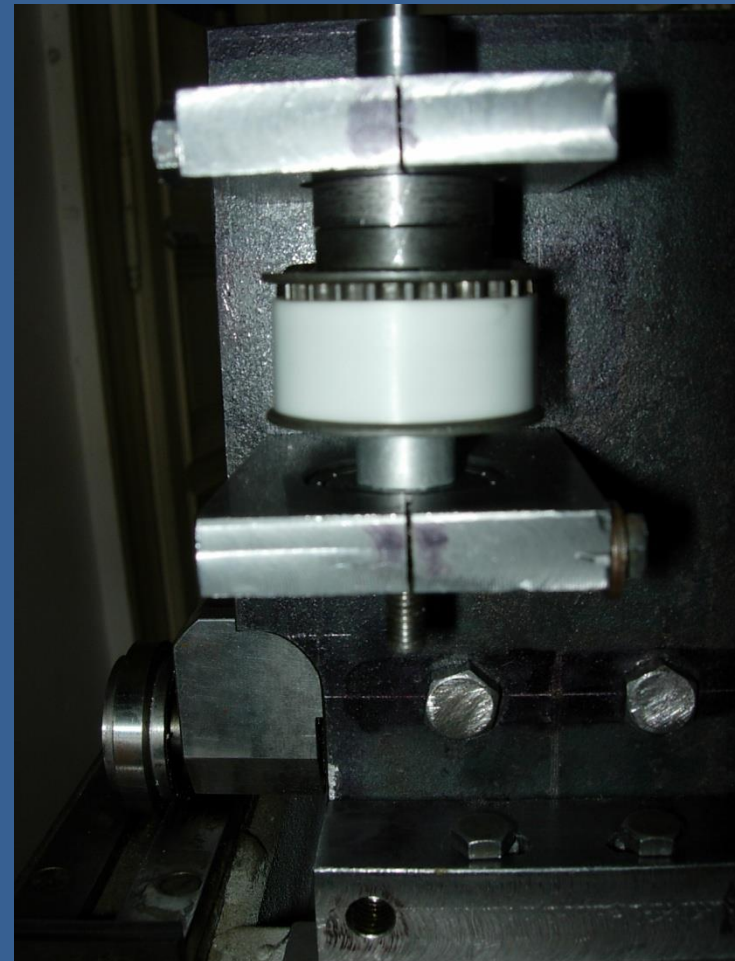


Úprava konstrukce laboratorního modelu

Uchytení řemene na vozíku:



Uložení řemenic:



Matematický popis modelu

- Lagrangeovy rovnice II. druhu

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_K}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial E_K}{\partial q_j} = \sum_{j=1}^n Q_j$$

- Lagrangeovy rovnice smíšeného typu

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E_k}{\partial \dot{s}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial s_j} = Q_j + \sum_{k=1}^r \lambda_k \frac{\partial f_k}{\partial s_j}$$

Z pohybových rovnic sestavíme simulační model v SIMULINKu

Odstranění problému kývání po ukončení pohybu

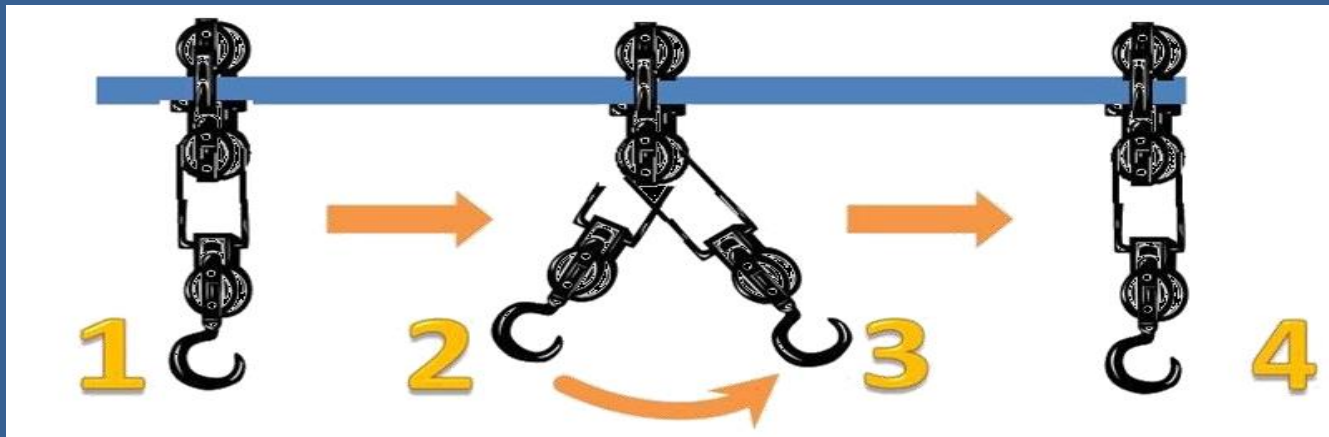
- Odstranění parazitních vlivů,
- řízení necitlivé na parazitní vlivy,
- transformace vstupního signálu.
- kombinace.

Pro „řízení“ (ovládání) zvolena metoda transformace signálu.

- Stabilizace protipulzem (simulace),
- silové řízení modifikací vstupu (simulace),
- rychlostní řízení modifikací vstupu (simulace a realizováno).

Návrh řízení: stabilizace protipulzem

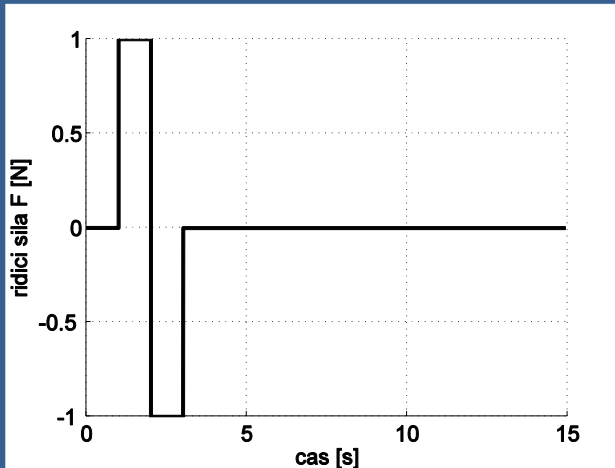
- 1) klidový stav
- 2-3) soustavě dodáme a opět odebereme příslušným způsobem energii
- 4) nastane opět klidový stav bez zbytkového kývání



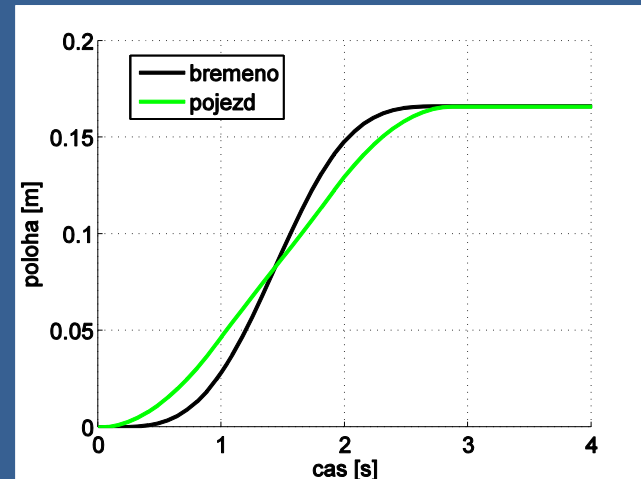
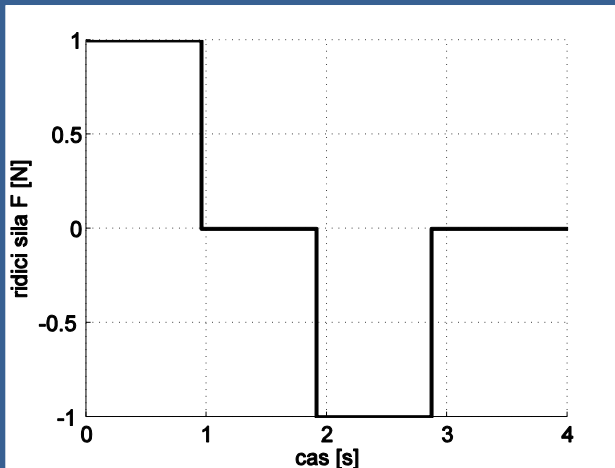
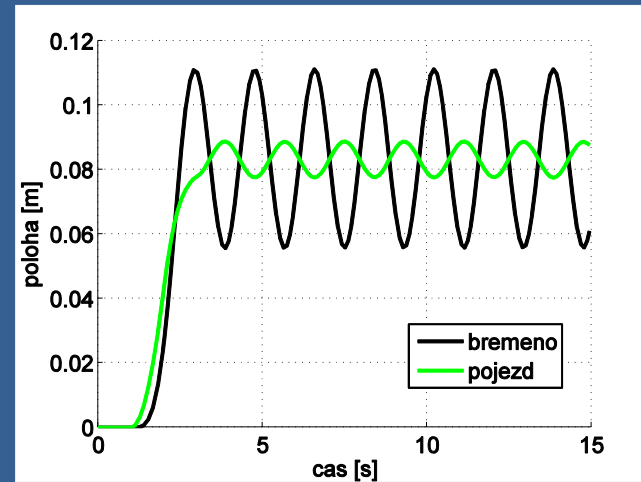
- potřeba výpočtu vlastní frekvence soustavy
- nespojité řízení, pohyb je předem dán

Návrh řízení: stabilizace protipulzem

Vstupní síla do systému



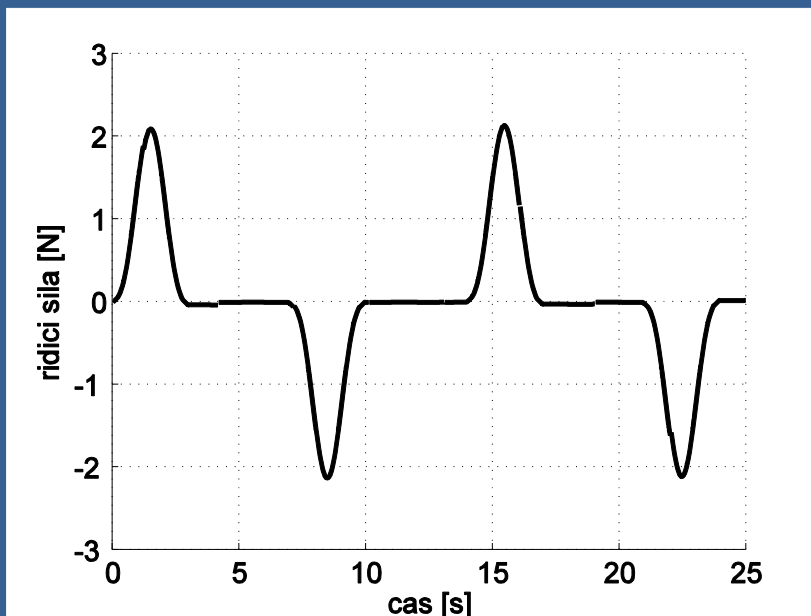
Poloha



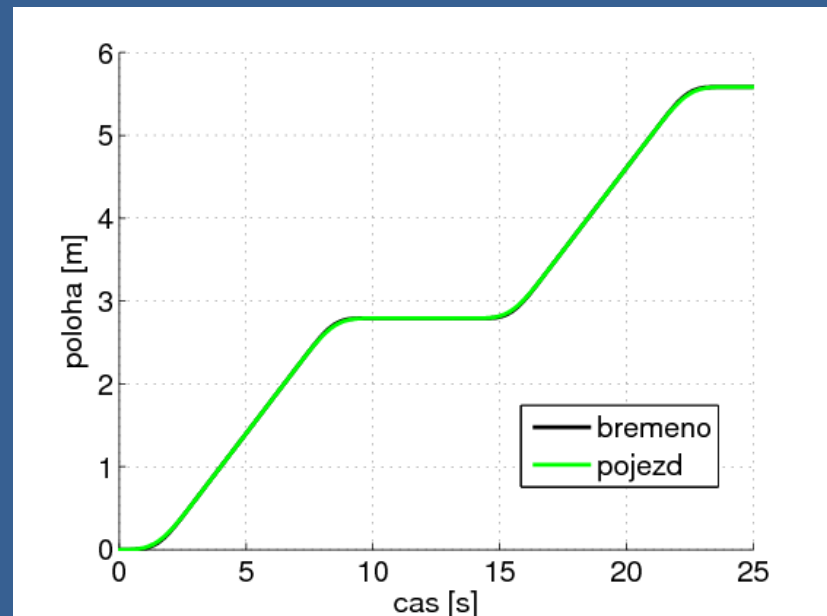
Návrh řízení: modifikace vstupu (silové řízení)

- Pohybové rovnice sestaveny pomocí L.E.M.T.
- Sestavíme rovnici pro výkyv břemene respektující okrajové podmínky nekývání na začátku a konci pohybu a dosazením do L.E.M.T získáme průběh potřebného silového řízení.

Průběh vstupní síly



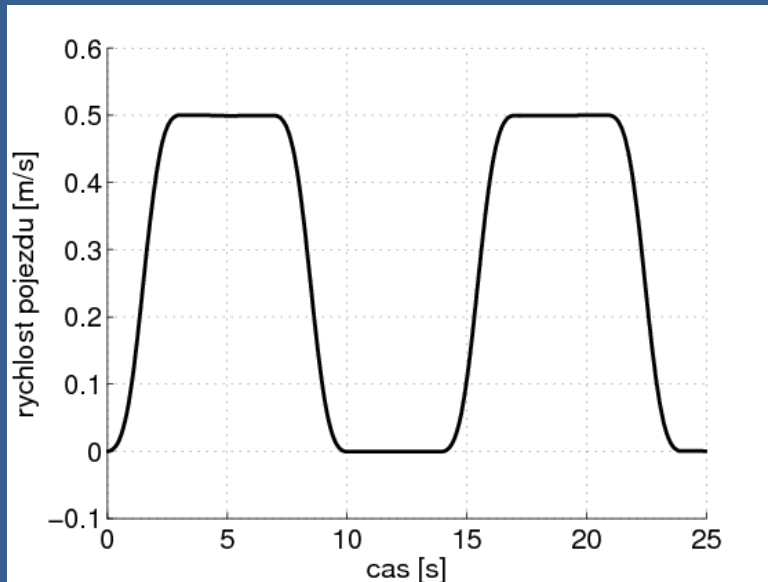
Průběh polohy břemene a pojezdu



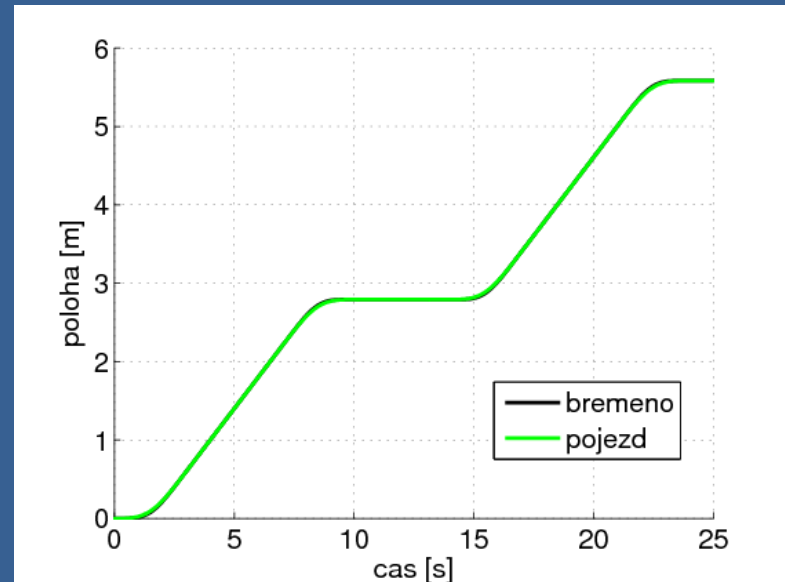
Návrh řízení: modifikace vstupu (rychlostní řízení)

- Sestavení shodné s předchozí metodou.
- Vstupem pro řízení je použita rychlost – přepočít ze vstupní síly (dostatečně dimenzované pohony).

Vstupní rychlost do systému



Průběh polohy pojezdu
a břemene



Aplikace na laboratorní model

Řídicí systém: B&R Automation

- Control unit: X20 CP 1484
- Digital Input: X20 9371
- Digital Output: X20 9322
- Motor unit: X20 MM2436

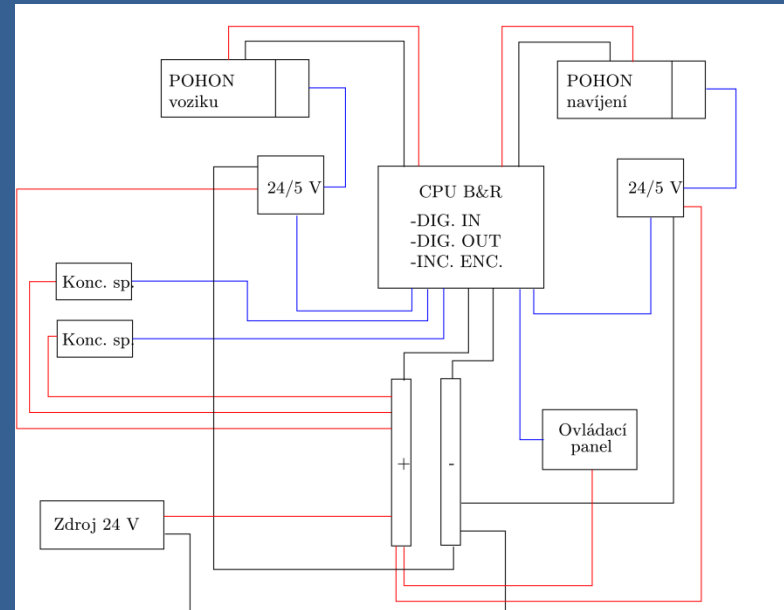


Schéma zapojení elektroniky.

Závěr

- Modifikace konstrukce.
- Sestavení matematického modelu jeřábu.
- Návrh nekývavého řízení.
- Simulace navrženého řízení.
- Aplikace řízení na laboratorní model.

=> nekývavý laboratorní model

Děkuji za pozornost

Vyjádření k otázkám oponenta

Proč je model jeřábu odvozen dvěma různými metodami?

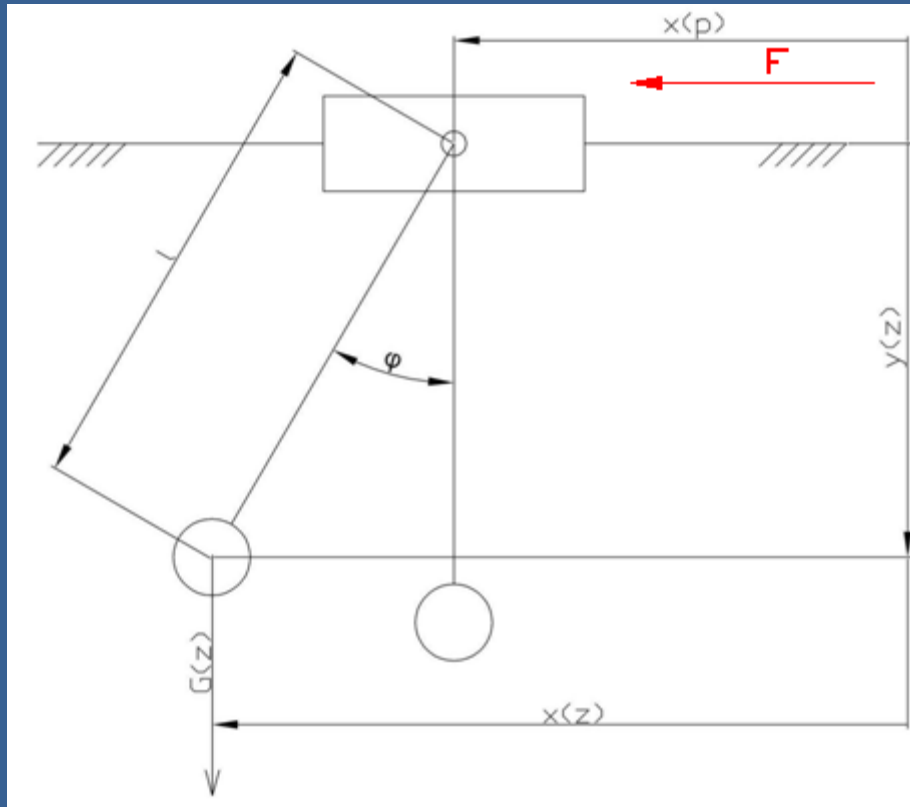
L.R.II byly použity

- pro jejich jednoduchost
- snadnou řešitelnost
- neuvažujeme proměnnou délku lana

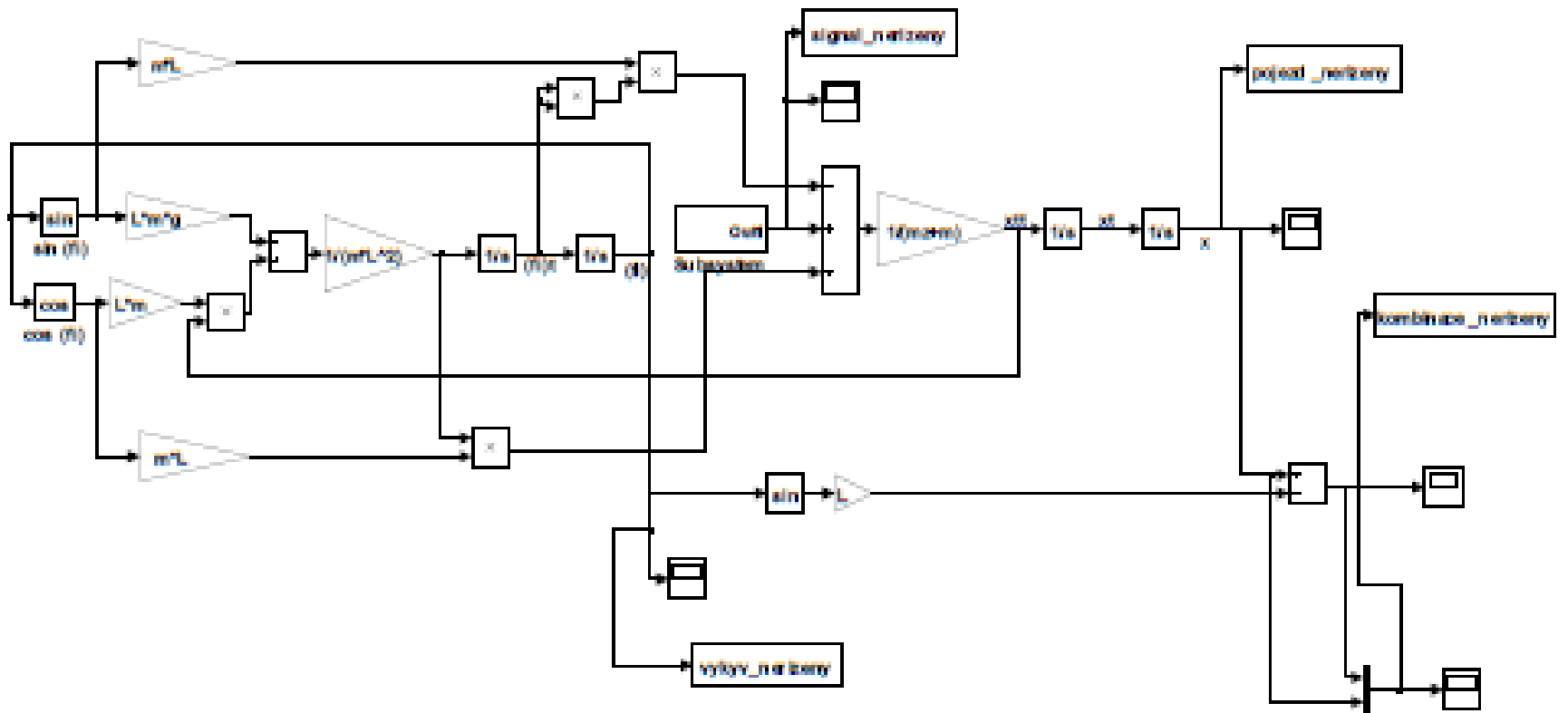
L.E.M.T. byly použity v druhém modelu, protože:

- příprava na model s nekýváním i v případě, že dochází k navíjení při pohybu

- V kapitole 5.21 není na obrázku vstupní síla



- Síla na obrázku chybí z důvodu překreslování , v simulačním modelu je však zahrnuta



Rovnice je linearizována, za jakých předpokladů?

$$\lambda = \frac{l}{\frac{\frac{mM}{m+M}\varphi^2}{m} + \frac{y_z^2}{m} + \frac{l^2}{I_{Br}}} \left(gy_z + \frac{F_l l}{I_{Br}} - \frac{F_x \varphi}{M} + \dot{l}^2 - \dot{\varphi}^2 - \dot{y}_z^2 \right)$$

Vyjádřený Lagrangeův multiplikátor vyjadřuje sílu v laně (reakci).
Vzhledem k tomu, že dynamické účinky v laně jsou zanedbatelné, lze vztah nahradit tíhou břemene.

$$\lambda = mg$$

Začátek kapitoly 5.2.1 (str. 37) obsahuje text:

Aby hledaná funkce [9] zajišťovala nekývání břemene, musí splňovat tyto okrajové podmínky

o jakou funkci se jedná?

Rovnice, na kterou odkazují, se nachází v literatuře, ze které jsem čerpal , proto je v textu uveden odkaz na seznam literatury. Vztah je uveden na následující stránce.

$$\varphi = K \left[\sin \left(\frac{\pi t}{T} \right) - \frac{1}{3} \sin \left(\frac{3\pi t}{T} \right) \right]$$

Z rovnice 5.60 je odvozena rovnice 5.61. Za jakého předpokladu?

$$\ddot{\varphi} = \ddot{x}_p - \frac{mg\varphi}{Ml} + \frac{g}{l}\varphi\left(1 + \frac{m}{M}\right)$$

V rovnici vznikla chyba při přepisu do elektronické podoby.

$$\ddot{\varphi} = \ddot{x}_p + \frac{mg\varphi}{Ml} - \frac{g}{l}\varphi\left(1 + \frac{m}{M}\right)$$

Výsledek vyjádřený z této rovnice je již uveden správně.

$$\ddot{x}_p = \ddot{\varphi} + \frac{g}{l}\varphi$$