

ZDVIH ŽERIAVA S POZOROVATEĽOM HMOTNOSTI BREMENA (CRANE UPLIFTING WITH BURDEN WEIGHT OBSERVER)

Marek HIČÁR

Katedra elektrických pohonov a mechatroniky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,
Letná 9/A, 042 00 Košice, Slovenská republika, E-mail: hicarm@hron.fe.i.tuke.sk

SUMMARY

Crane uplifting with burden weight observer is very useful to use in combination with uplift, crab and bridge motion with cooperated transfer of their parameters: burden weight, rope length and crab and bridge position.

We use three phase asynchronous motor fed from frequency convertor for crane uplift. We demand to design control which will ensure stability, required accuracy and quality of control system at working and disturbance. Controllers are designed by method of state controls. It requires full information about system, at presumption that state values are measurable. Current, speed and position controls are PI type. We need to ensure for crab and bridge motion control the robustness of system controls for real burden weight and length of hanging rope. Control system is upgraded with design for observer of system. It is preferable to set up disturbance observer which will have function of identification burden weight as a disturbance. System will be working at both modes at empty hook and also at maximum load: burden uplifting and dropping down.

Keywords: crane uplifting, burden weight, rope length, disturbance observer

1. ÚVOD

Zdvih žeriava vyžaduje úplnú reguláciu pre široký rozsah hmotnosti bremena. Firma KPK Martin poskytla parametre pre simulácie na mostovom dvojnosičkovom žeriave, kde bol použitý pohon pre zdvih s minimálnou hmotnosťou bremena 342 kg a maximálnou 20342 kg, pričom prázdny hák predstavuje kladnicu (342 kg): nosný hák, pohon otáčania háku a závesné lano.



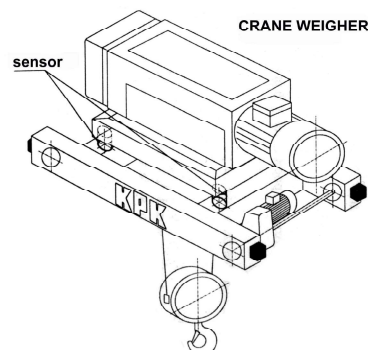
Obr. 1 Kladnica pre zdvih žeriava
Fig. 1 Tackle block for crane uplift

Ďalšou dôležitou súčasťou pre zdvih žeriava je navíjací bubon.



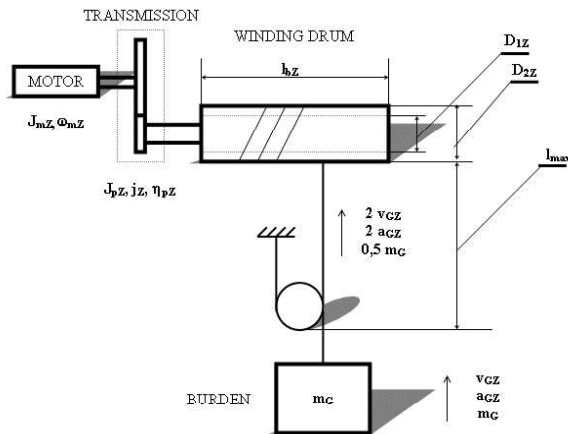
Obr. 2 Navíjací bubon
Fig. 2 Winding drum

Pohon zdvihu je súčasťou mačky žeriava, ktorá sa pohybuje v kolmom smere na pohyb mosta žeriava. V praxi sa používa aj snímačové meranie hmotnosti merania, avšak náš návrh určí hmotnosť bremena pozorovaním poruchy [5, 6].



Obr. 3 Zdvih žeriava - súčasť mačky žeriava
Fig. 3 Crane uplift - part of crane crab

Jednotlivé režimy činnosti pohonu zdvihu určujú momenty, ktoré je nutné zohľadniť pri návrhu pohonu zdvihu podľa obrázku 4 [1]:



Obr. 4 Zdvih žeriava
Fig. 4 Crane uplift

Legenda k obrázku 4:

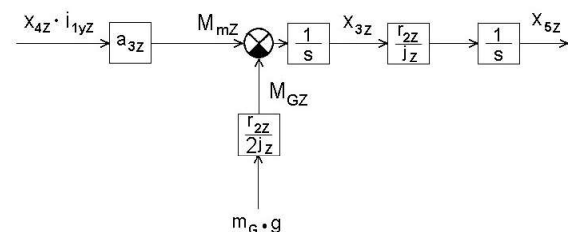
J_{mZ} - moment zotrvačnosti motora, ω_{mZ} - rýchlosť motora, J_{pZ} - moment zotrvačnosti prevodovky, j_Z - prevod, η_{pZ} - účinnosť prevodovky, l_{bz} - dĺžka bubna, D_{2Z} - vonkajší priemer bubna, D_{1Z} - vnútorný priemer bubna, l_{max} - maximálna dĺžka lana, v_{GZ} , a_{GZ} - rýchlosť a zrýchlenie zdvihu bremena, m_G - hmotnosť bremena.

2. SYSTÉMOVÉ ROVNICE

Základná momentová rovnica pre rozbor momentových pomerov [2, 3]:

$$M_{mZ} - M_{GZ} = J_{CZ} \frac{d\omega_{mZ}}{dt}, \quad (1)$$

kde M_{mZ} - moment motora, M_{GZ} - moment



bremena.

Obr. 5 Momentová rovnica pre MATLAB Simulink

Fig. 5 Torque formula for MATLAB Simulink

kde x_{3Z} - rýchlosť zdvihu bremena, x_{4Z} - prúd a x_{5Z} - dĺžka lana.

Pre výpočet celkového momentu zotrvačnosti J_{CZ} potrebujeme prepočítať dielčie momenty zotrvačnosti na hriadeľ motora. Najskôr prepočítame posuvnú rýchlosť bremena v_{GZ} na uhlovú rýchlosť motora ω_{mZ} :

$$v_{GZ} = \frac{\omega_{mZ} D_{2Z}}{j_Z} \quad (2)$$

Prepočítaný moment zotrvačnosti bremena vychádza zo základného vzťahu $J_{CGZ} = \frac{m_G}{2} r_{2Z}^2$, kde

$$r_{2Z} = \frac{2v_{GZ}}{\omega_{mZ}}, \text{ potom:}$$

$$J_{CGZ} = m_G \frac{D_{2Z}^2}{32 j_Z^2} \quad (3)$$

Prepočítaný moment zotrvačnosti bubna:

$$J_{CbZ} = \frac{\Pi \rho_{bz} l_{bz}}{32} (D_{2Z}^2 - D_{1Z}^2) \frac{1}{j_Z^2} \quad (4)$$

Potom píšeme výsledný vzťah pre celkový moment zotrvačnosti:

$$J_{CZ} = \frac{J_{mZ}}{\eta_{mZ}} + J_{CbZ} + J_{CGZ} \quad (5)$$

Pri návrhu momentových pomerov zohľadňujeme účinnosť prevodovky η_{pZ} .

Potenciálny moment bremena pri zdvihu, keď $M_{1Z} = m_G g r_{2Z}$, potom:

$$M_{1GZ} = \frac{m_G g D_{2Z}}{4 j_Z \eta_{pZ}} \quad (6)$$

a spúšťaní bremena:

$$M_{2Z} = \frac{m_G g D_{2Z}}{4 j_Z} \eta_{pZ} \quad (7)$$

Motor pracuje v nasledujúcich režimoch:

1. Rozbeh pri zdvihu bremena:

$$M_{1Z} = M_{1GZ} + M_{D1Z},$$

2. Chod ustálenou rýchlosťou pri zdvihu bremena:

$$M_{2Z} = M_{1GZ},$$

3. Brzdzenie pri zdvihu bremena:

$$M_{3Z} = M_{1GZ} - M_{D1Z},$$

4. Rozbeh pri spúšťaní bremena:

$$M_{4Z} = M_{2GZ} - M_{D2Z},$$

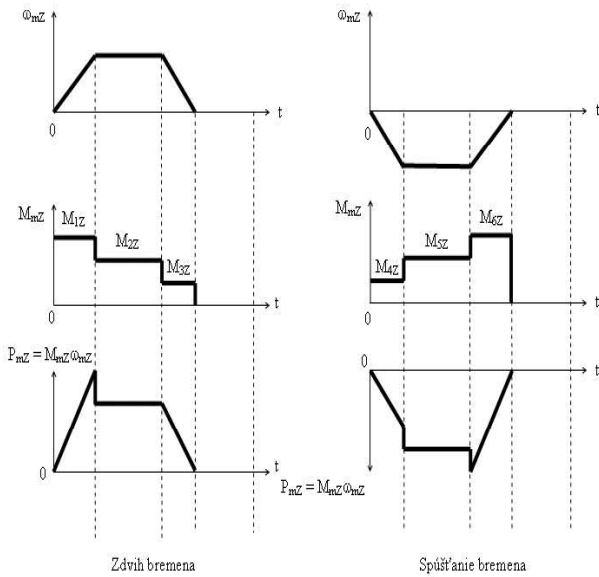
5. Chod ustálenou rýchlosťou pri spúšťaní bremena:

$$M_{5Z} = M_{2GZ},$$

6. Brzdzenie pri spúšťaní bremena:

$$M_{6Z} = M_{2GZ} + M_{D2Z}.$$

Zobrazenie pracovných diagramov:



Obr. 6 Všeobecné pracovné diagramy zdvihu žeriava

Fig. 6 Work diagrams of crane uplift

3. METÓDA RIADENIA

Z praktických dôvodov zdvih žeriava uvažujeme o dvoch hodnotách závesného lana: $l = 4$ alebo 8 m (s doporučením firmy KPK Martin). Pri $l = 8$ m prebieha naloženie a vyloženie bremana, presuv bremana začína až po zodvihnutí na $l = 4$ m. Pre pohon zdvihu je použitý motor s parametrami:

$$P_{NZ} = 37 \text{ kW}; I_{NZ} = 68 \text{ A}; \cos \varphi_Z = 0,86;$$

$$n_{NZ} = 980 \text{ min}^{-1}; M_{NZ} = 361 \text{ Nm};$$

$$J_{mZ} = 0,89 \text{ kgm}^2; 2p_Z = 6.$$

Stavovým riadením navrhujeme PI regulátory subsystémov polohy, rýchlosti a prúdu:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{b}u + \mathbf{e}z_{pm}, \quad y = \mathbf{c}^T \mathbf{x}. \quad (8)$$

Pre riadenie rýchlosti podľa obrázka 9 môžeme písať:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{3Z} \\ \dot{x}_{4Z} \\ \dot{v}_{4Z} \\ \dot{v}_{3Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_{3Z} & 0 & 0 \\ 0 & -r_{4Z} & 1 & 0 \\ -K_{4Z}r_{33Z} & -K_{4Z}(1+r_{34Z}) & -K_{4Z}d_{34Z} & K_{4Z} \\ -K_{3Z} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{3Z} \\ x_{4Z} \\ v_{4Z} \\ v_{3Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_{3Z} \end{bmatrix} w_{3Z} \quad (9)$$

Stavová rovnica pre PI regulátor polohy:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{5Z} \\ \dot{v}_{5Z} \\ \dot{v}_{3Z} \\ \dot{v}_{4Z} \\ \dot{x}_{3Z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{r_{2Z}}{J_Z} \\ -K_{5Z} & 0 & a_{3Z} & 0 & 0 \\ -K_{3Z}r_{55Z} & K_{3Z} & -K_{3Z}d_{53Z} & -K_{3Z}d_{54Z} & -K_{3Z}(1+r_{53Z}) \\ 0 & 0 & K_{4Z} & -K_{4Z}d_{34Z} & -K_{4Z}r_{33Z} \\ 0 & 0 & 0 & a_{3Z} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{5Z} \\ v_{5Z} \\ v_{3Z} \\ v_{4Z} \\ x_{3Z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ K_{5Z} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} w_{4Z} \quad (10)$$

kde stavové veličiny sú popísané obrázkom 5.

Pozorovateľ poruchy s pozorovateľom hmotnosti

bremana \hat{z}_{pmZ} :

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{b}u + \mathbf{h}\left(\hat{y} - \hat{y}\right) + \mathbf{e}\hat{z}_{pm},$$

$$\hat{y} = \mathbf{c}^T \hat{\mathbf{x}}, \quad \hat{z}_{pm} = -\mathbf{K}_i\left(\hat{y} - \hat{y}\right). \quad (11)$$

Po zavedení rozdielu $\Delta x = x - \hat{x}$ dostávame výslednú stavovú rovnicu:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{x}_{3Z} \\ \Delta \dot{z}_{pmZ} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_{1Z} & e_z \frac{r_{2Z}}{2J_Z} \\ -K_{iZ} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_{3Z} \\ \hat{z}_{pmZ} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -e_z \frac{r_{2Z}}{2J_Z} \\ 0 \end{bmatrix} z_{pmZ} \quad (12)$$

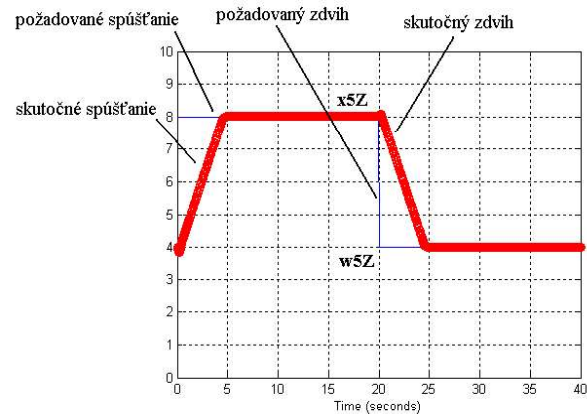
Rovnice 9, 10 a 12 sú riešené porovnaním žiadaného polynómu so charakteristickým polynómom systému.

4. VÝSLEDKY SIMULÁCIE

Pri simuláciách počítame s dvoma krajnými hmotnosťami bremana:

Spúšťanie: $m_G = 20\,342$ kg, $l = 4 - 8$ m.

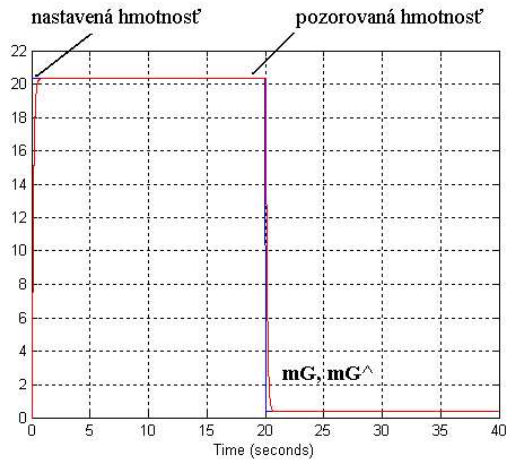
Zdvih: $m_G = 342$ kg., $l = 8 - 4$ m.



Obr. 7 Simulácia spúšťania bremana
Fig. 7 Simulation of burden dropping down

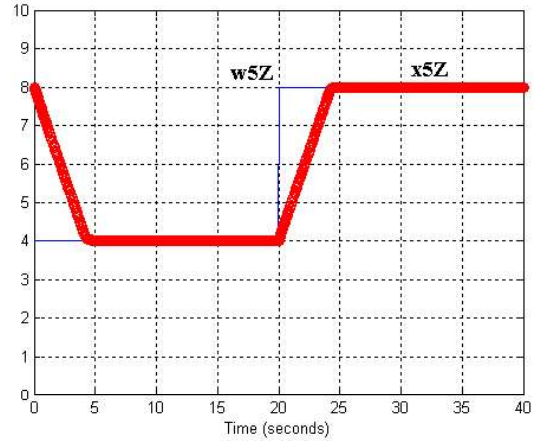
Na obrázkoch 7, 8 pozorujeme presné spustenie bremana s hmotnosťou $20\,342$ kg (v obr. je hmotnosť bremana v tonách). Po dosiahnutí referenčenej polohy spúšťania bremana nasleduje zmena hmotnosti a potom zdvih bremana s hmotnosťou 342 kg. Na obrázku 8 sledujeme úplne presnú identifikáciu hmotnosti bremana počas zdvihu i spúšťania bremana. Týmto spôsobom vieme určiť v požadovanej presnosti hmotnosť bremana bez použitia snímačov. V simuláciách na obrázkoch 10, 11 budeme sledovať reguláciu zdvihu a spúšťania v opačnom poradí: najskôr spustíme bremano a potom zdvihneme prázdny hák.

Požadovaný zdvih je w_{5Z} [m] a skutočný zdvih x_{5Z} [m].

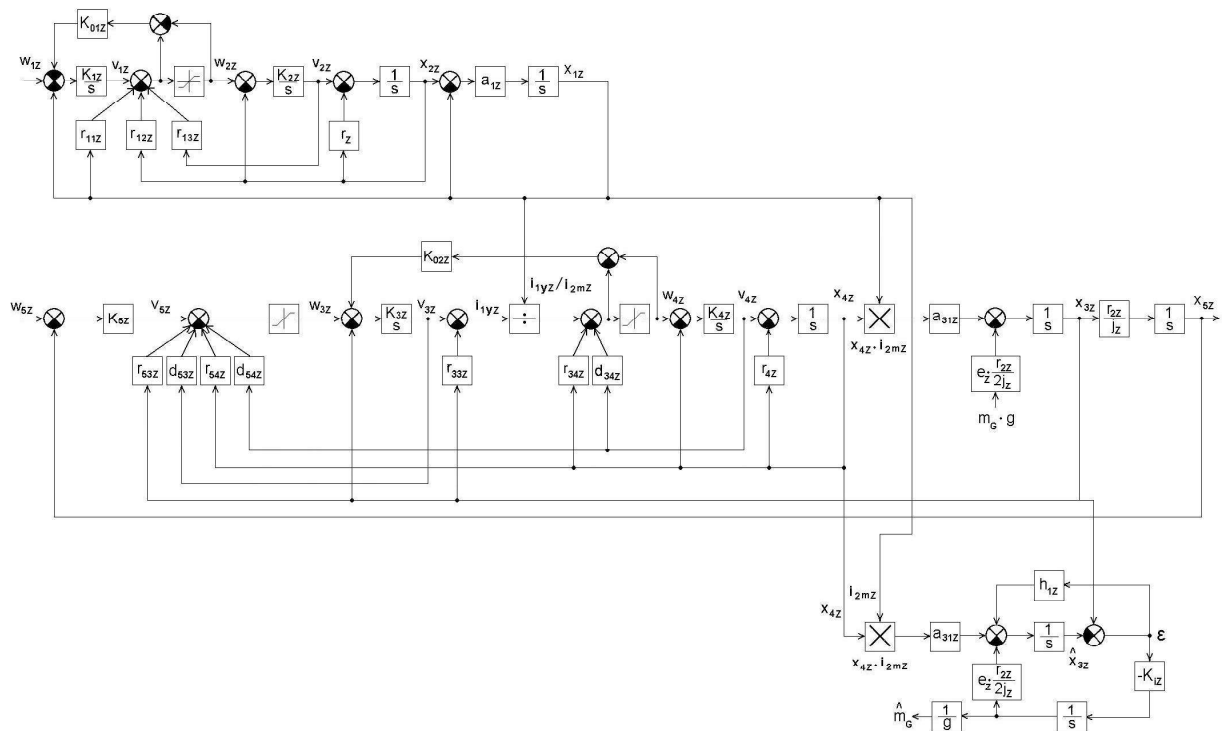


Obr. 8 Identifikácia hmotnosti bremena
Fig. 8 Burden weight identification

Správne identifikovanú hmotnosť podľa obrázkov 8, 11 môžeme použiť pre pohon mačky a mosta. Experiment pre overenie návrhu zdvihu pripravujeme v spolupráci s p. Jurajom Ritókom, Katedra konštruovania, dopravy a logistiky.

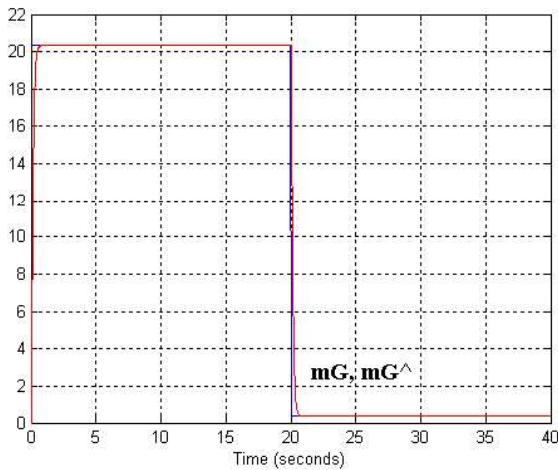


Obr. 10 Simulácia zdvihu bremena
Fig. 10 Simulation of burden uplift



Obr. 9 Bloková schéma zdvihu žeriava (w_{1z} , x_{1z} - požadovaná a skutočná tokotvorná zložka prúdu, x_{3z} , \hat{x}_{3z} - skutočná a pozorovaná rýchlosť zdvihu, x_{4z} - skutočný momentotvorný prúd, w_{5z} , x_{5z} - požadovaná a skutočná dĺžka lana, \hat{m}_G - pozorovaná hmotnosť nákladu)

Fig. 9 Block scheme of crane uplift (w_{1z} , x_{1z} - reference and real magnetism part of current, x_{3z} , \hat{x}_{3z} - real and observed uplifting speed, x_{4z} - real torque part of current, w_{5z} , x_{5z} - reference and real rope length, \hat{m}_G - observed load weight)



Obr. 11 Identifikácia hmotnosti bremena
Fig. 11 Burden weight identification

5. ZÁVER

Aplikácia navrhutej regulácie zdvihu bremena pre žeriav sa dá veľmi účelne použiť v súvislosti pre pohon mačky a most žeriava. Po prvotnej identifikácii hmotnosti bremena počas zdvihu žeriava (mačka a most ešte nepohybujú), získaný dôležitý údaj - hmotnosť bremena, môže byť vstupným premenlivým parametrom pre mačku a most a tak po správnej identifikácii budú môcť vykonávať pohyby podľa predpísaných požiadaviek obsluhy, a tým aby nedošlo ku nekontrolovateľným výkyvom bremena. Navyše, dĺžka lana je taktiež nevyhnutný údaj pre reguláciu mačky a mosta. Prax požaduje premiestňovanie bremena pri ľubovoľnej dĺžke lana za účelom presného polohovania v rôznych výškach.

System nevyžaduje snímanie hmotnosti elektromechanickými snímačmi a tým spĺňa aj požiadavku jednoduchosti a presnosti.

Zo simulovaným priebehov môžeme sledovať, že odozva systému na zmenu hmotnosti bremena je veľmi rýchla (rádovo ms). Návrh zdvihu a spúšťania bremena pracuje presne podľa referenčného zdvihu alebo spúšťania, podľa potrieb obsluhy a to pri oboch krajných stavoch: maximálna záťaž a minimálna záťaž.

Tento článok je súčasťou projektu G-985.

LITERATÚRA

- [1] Bandurčín, L.: Diploma Work - State Control Of Crane, Košice, TU KEPM, 1997.
- [2] Leonhard, W.: Control of electrical drives, Springer Verlag Berlin, 1997.
- [3] Ackermann, J.: Robuste Regelung, Springer Vlg., Berlin 1993.
- [3] Zboray, L.: Controlled Drives, ES VŠT Košice, 1990.
- [4] Zboray, L.: State Control of the electrical drives, Vienala, Košice, 1995.
- [5] Bigoš, P., Trebuňa, F., Ritók, J., Faltinová, E.: Methods of judgement of possibility crane and the crane rail one-time overloading. In.: EAN 97, Olomouc, 1997.
- [6] Dzurňák, P., Ritók, J.: Application of automated crane in the distributed control system. In: MicroCAD'99, Section J, Miskolc, 1999.

BIOGRAPHY

Marek Hičár graduated at the Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice in 2000. Since that time he is busy as a part-time PhD. student at the Department of Electrical Drives and Mechatronics, Technical University in Košice. His research activity is focused to the robust control of cranes.