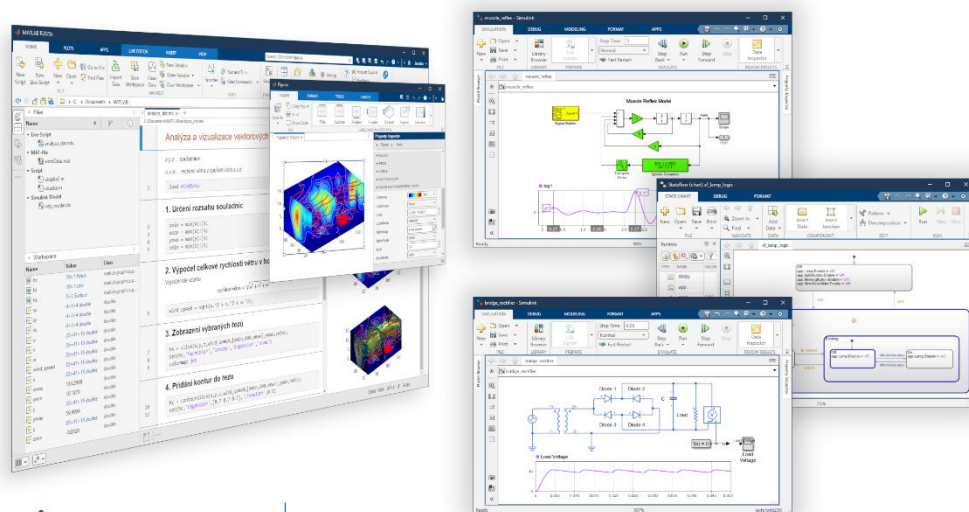


MATLAB a Simulink

Robustní a adaptivní řídicí systémy a metody řízení založené na datech



Jaroslav Jirkovský
jirkovsky@humusoft.cz

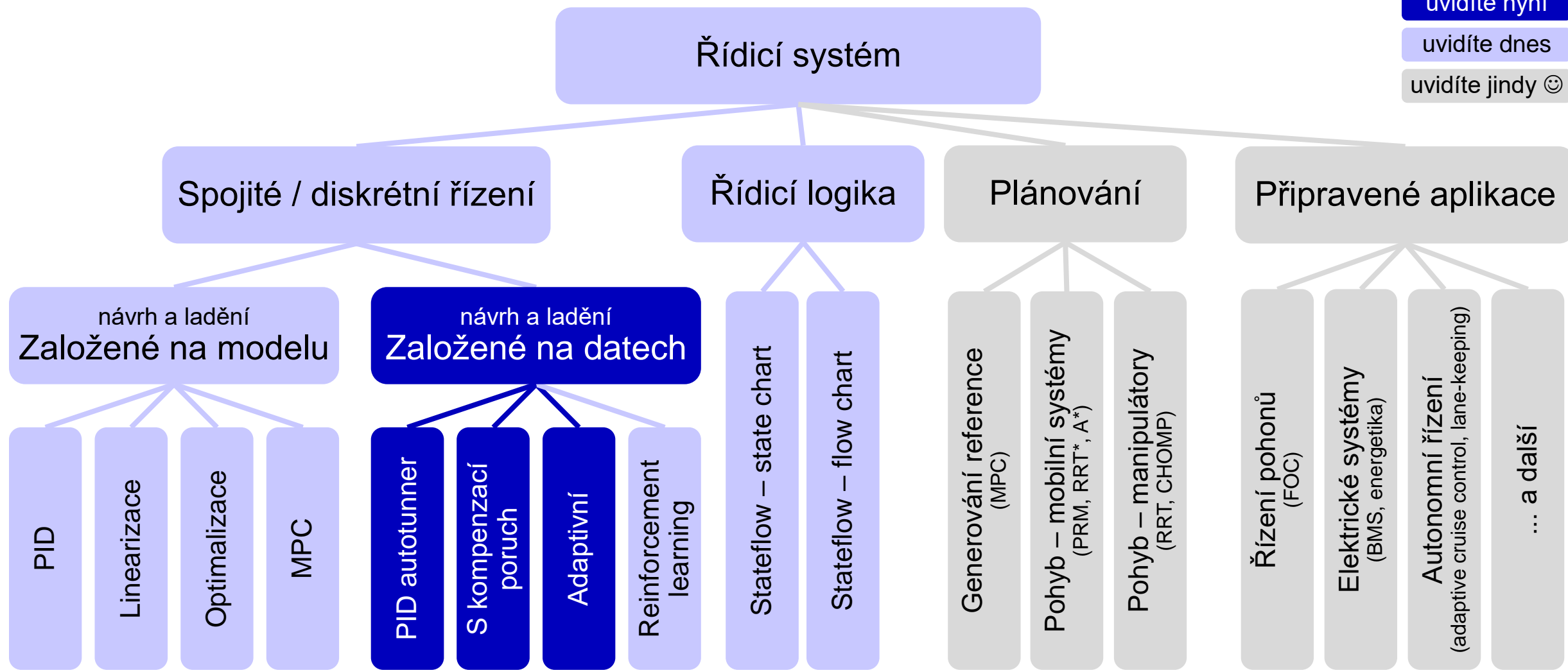
www.humusoft.cz
info@humusoft.cz

www.mathworks.com

Možnosti návrhu řídicích systémů v prostředí MATLAB

(výběr možností)

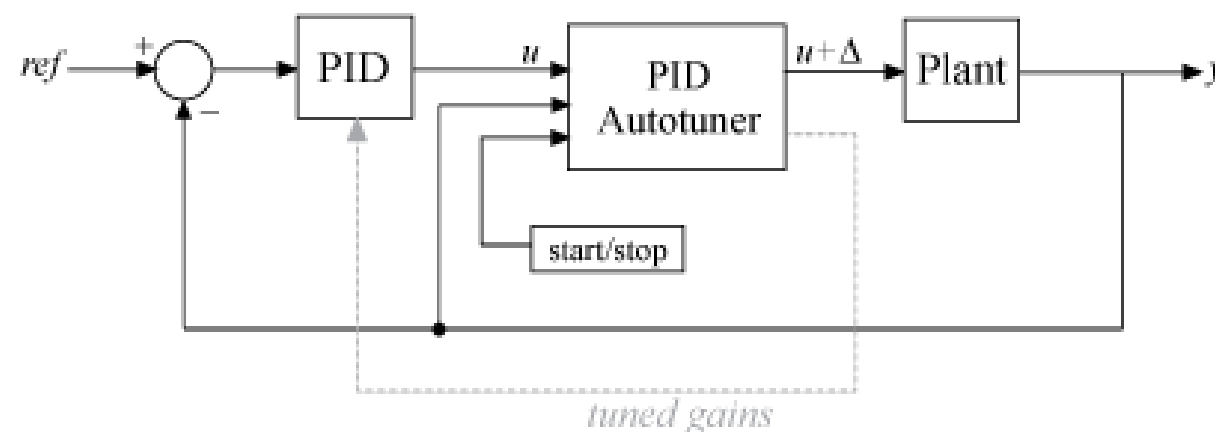
- uvidíte nyní
- uvidíte dnes
- uvidíte jindy 😊



Automatické ladění PID regulátorů v reálném čase

Automatické ladění PID regulátorů v reálném čase

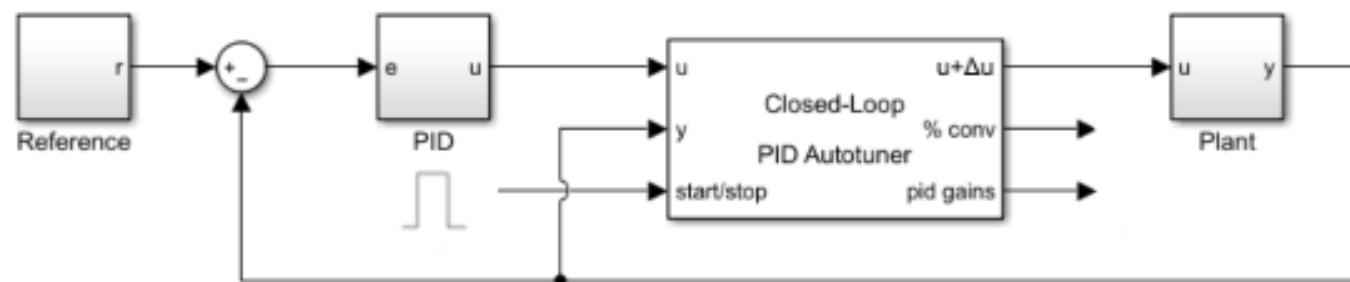
- Umožňuje ladit PID regulátory v reálném čase vůči k reálné soustavě*
 - nevyžaduje model soustavy
 - ladění je spouštěno zadaným signálem přímo v nasazeném systému
- Dostupné bloky
 - Open-Loop PID Autotuner
 - Closed-Loop PID Autotuner
 - Gain-Scheduled PID Autotuner
 - Field Oriented Control Autotuner
- Podpora generování kódu
 - implementace ladicího algoritmu na hardware



Dva způsoby zapojení experimentu pro ladění PID

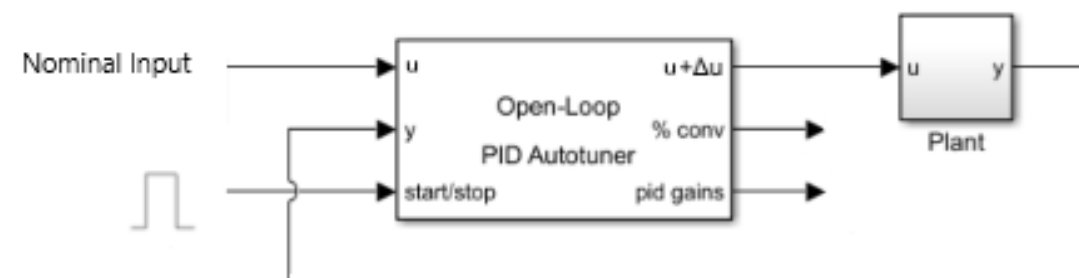
- Ladění probíhá na základě experimentálního odhadu frekvenční odezvy soustavy
- Experiment v uzavřené smyčce

– blok *Closed-Loop PID Autotuner*

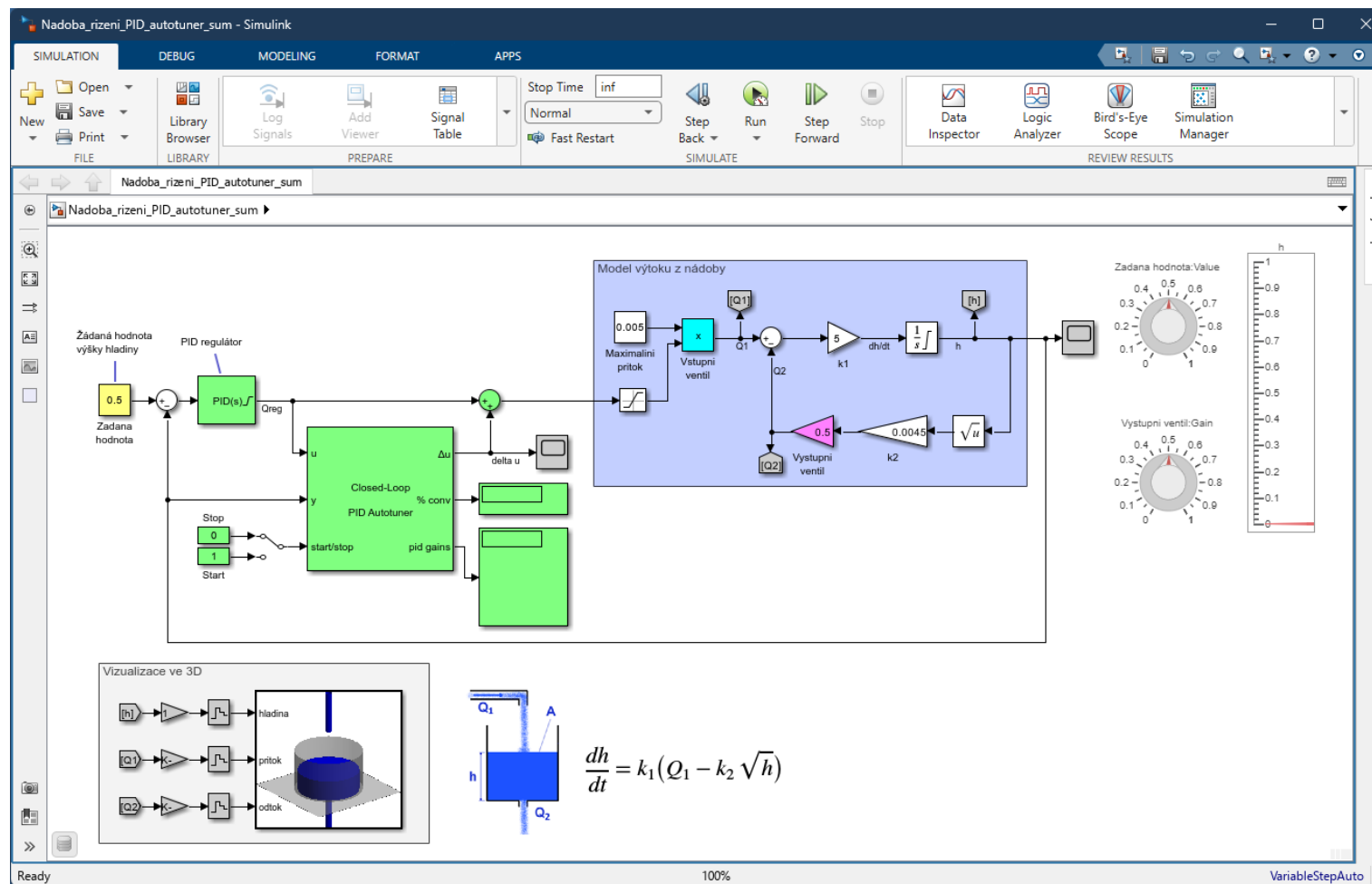


- Experiment v otevřené smyčce

– blok *Open-Loop PID Autotuner*

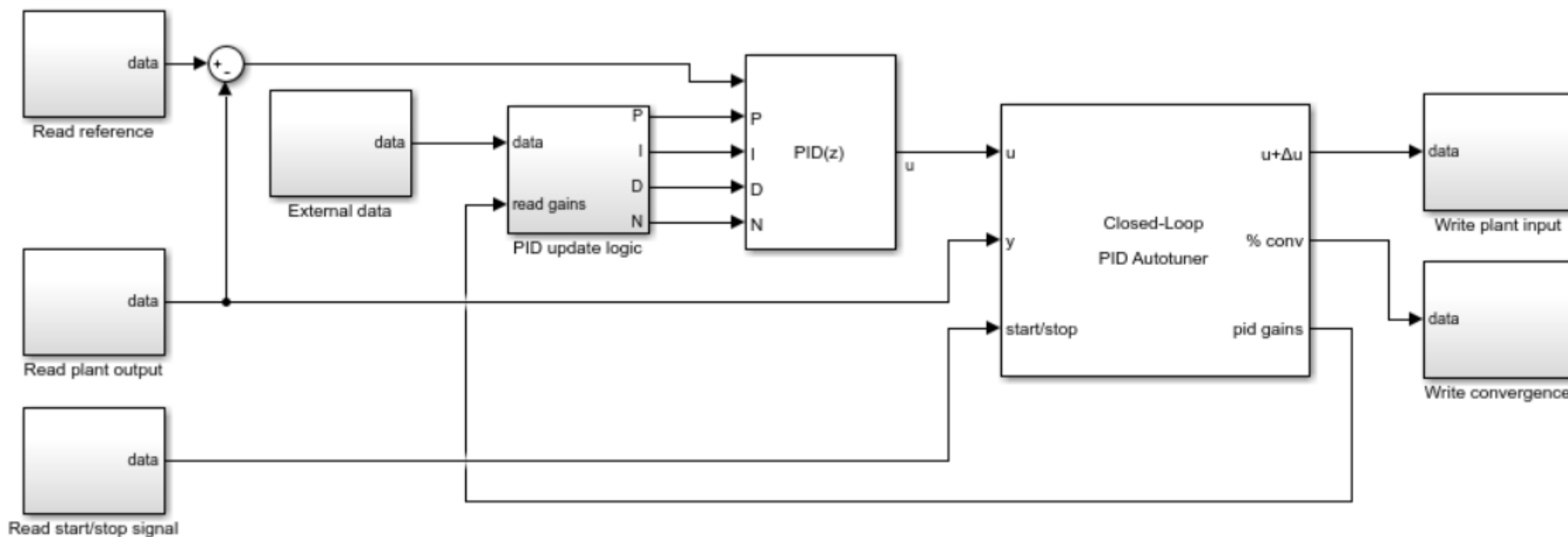


Ukázka: Ladění PID regulace blokem PID Autotuner



Zapojení bloků PID Autotuner při ladění v reálném čase

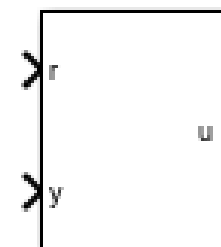
- PID regulátor nastaven na zadání hodnot parametrů formou externích signálů
- Naladěné P,I,D,N parametry zavedeny přes aktualizací logiku



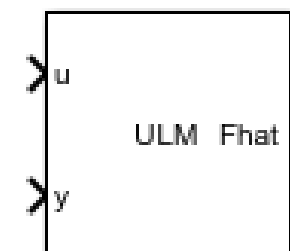
Metody pro kompenzaci poruch

Kompenzace poruch

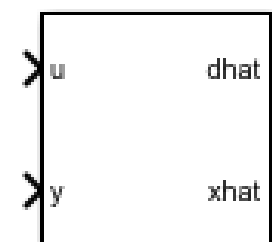
- Odhad a kompenzace poruch a neznámé dynamiky lineárních systémů
 - umožňuje odhadnout stavy a poruchy zařízení na základě jeho vstupů a výstupů
- Dostupné metody
 - Active Disturbance Rejection Control
 - Extended State Observer
 - Disturbance Compensator
 - Ultra Local Model



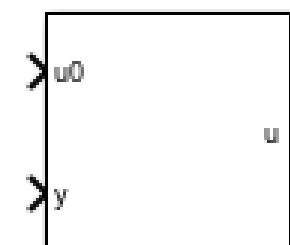
Active Disturbance Rejection Control



Ultra-Local Model



Extended State Observer



Disturbance Compensator

Active Disturbance Rejection Control (ADRC)

- Řízení soustav s neznámou dynamikou a vnitřními a vnějšími poruchami
 - regulace s robustním potlačením poruch a minimálním překmitem

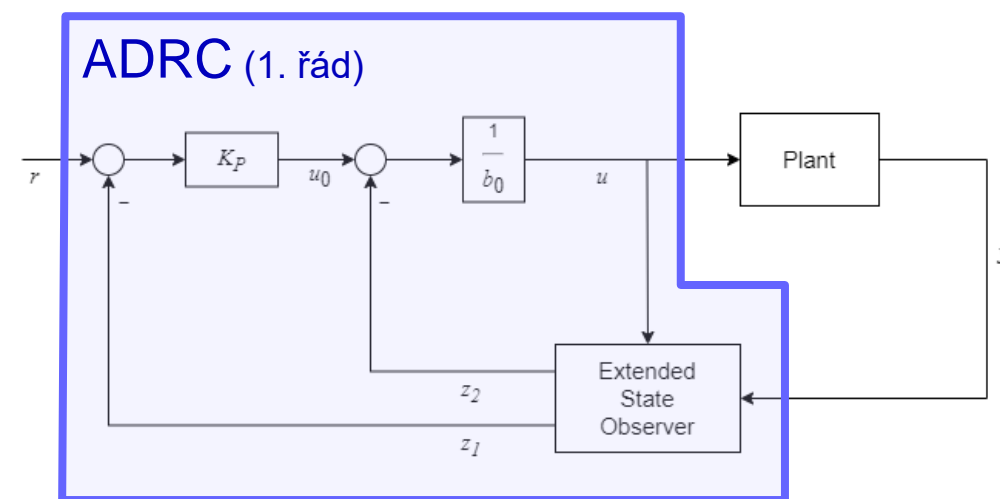
- Blok *Active Disturbance Rejection Control*

- Princip ADRC

- nevyžaduje model soustavy
- využívá jednoduchou aproximaci známé dynamiky

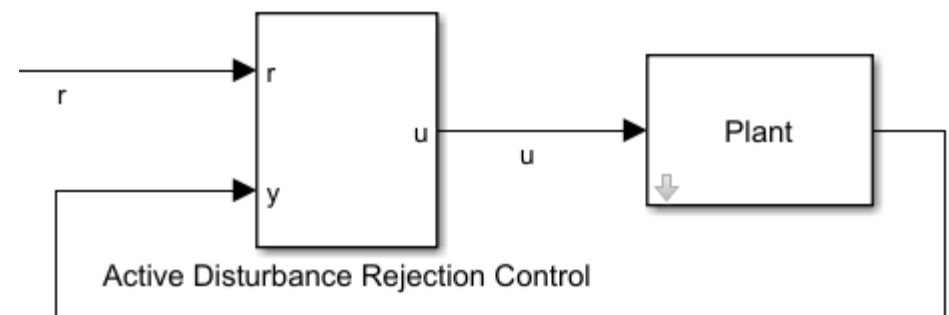
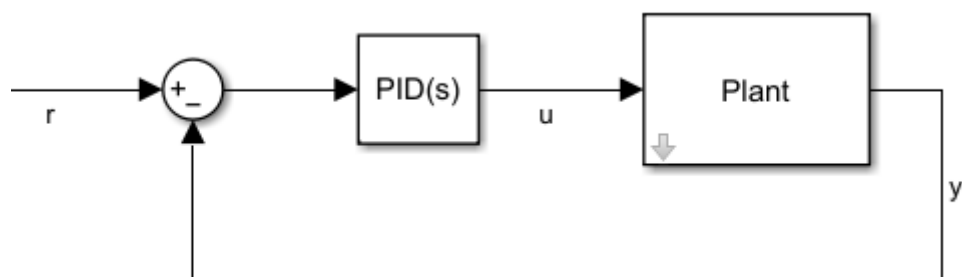
$$\dot{y}(t) = b_0 u(t) + f(t) \quad \text{nebo} \quad \ddot{y}(t) = b_0 u(t) + f(t)$$

- neznámá dynamika a poruchy $f(t)$ modelovány jako rozšířený stav soustavy

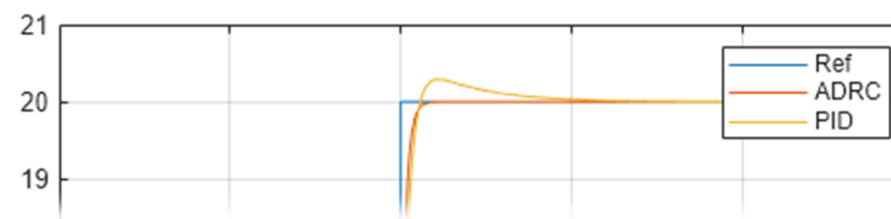


Active Disturbance Rejection Control (ADRC)

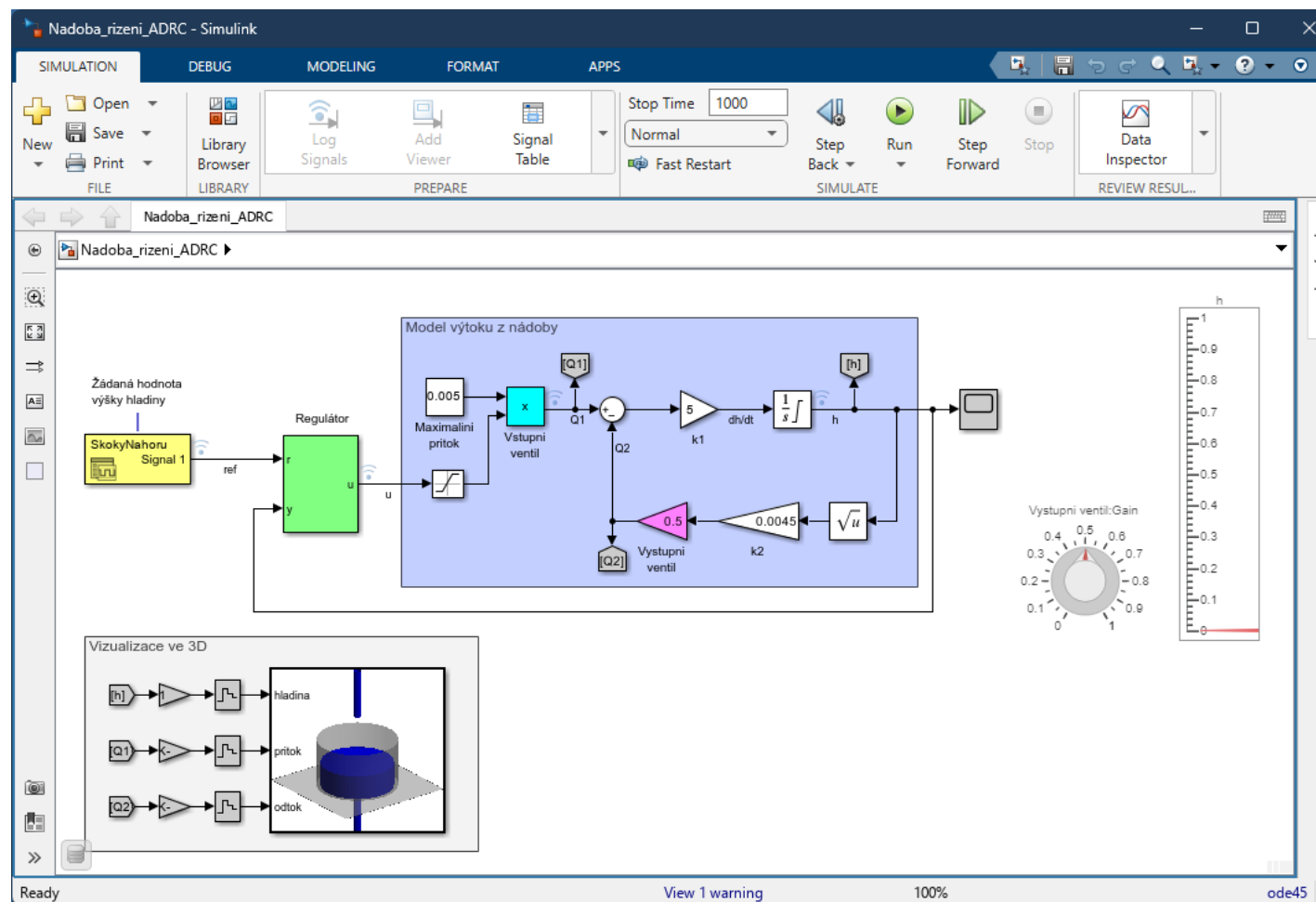
- Může sloužit jako alternativa PID regulace
 - zejména pro výkonovou elektroniku a řízení motorů
 - obdobné výpočetní nároky jako PID



- Jednoduchý postup ladění
 - pro širokou škálu provozních podmínek

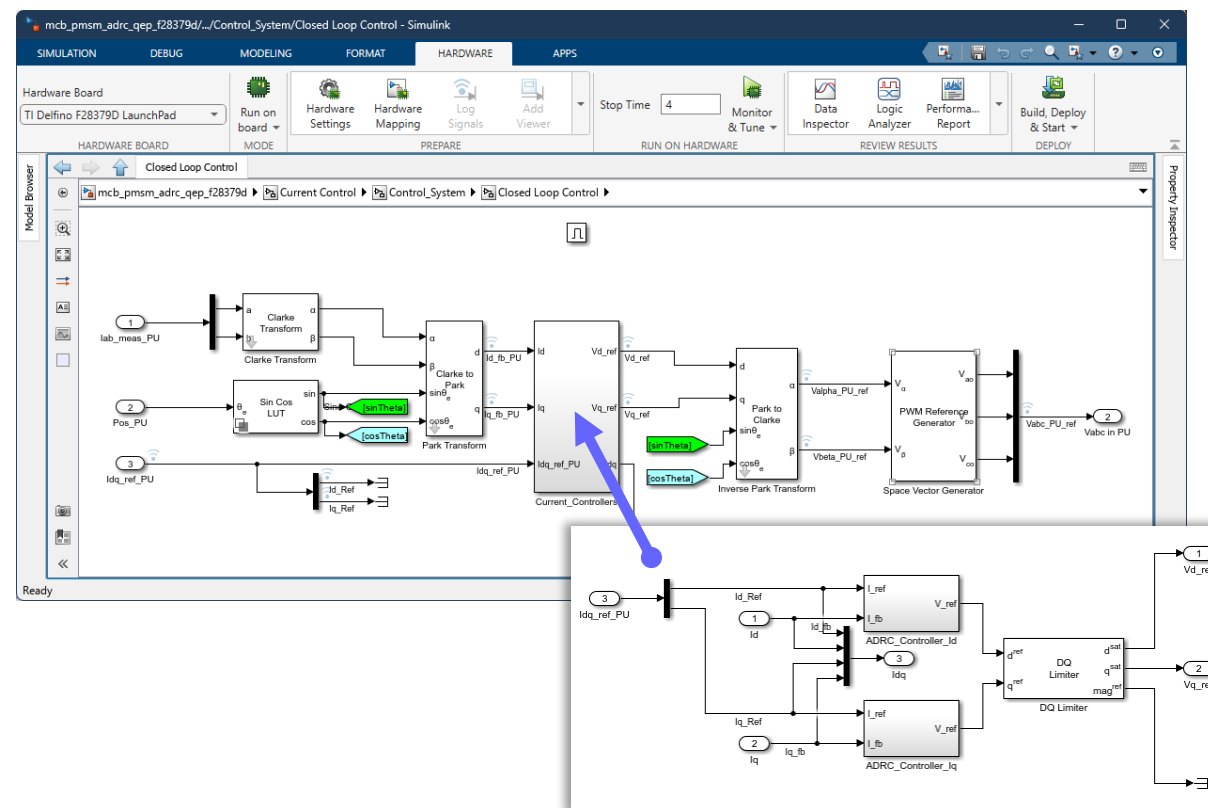
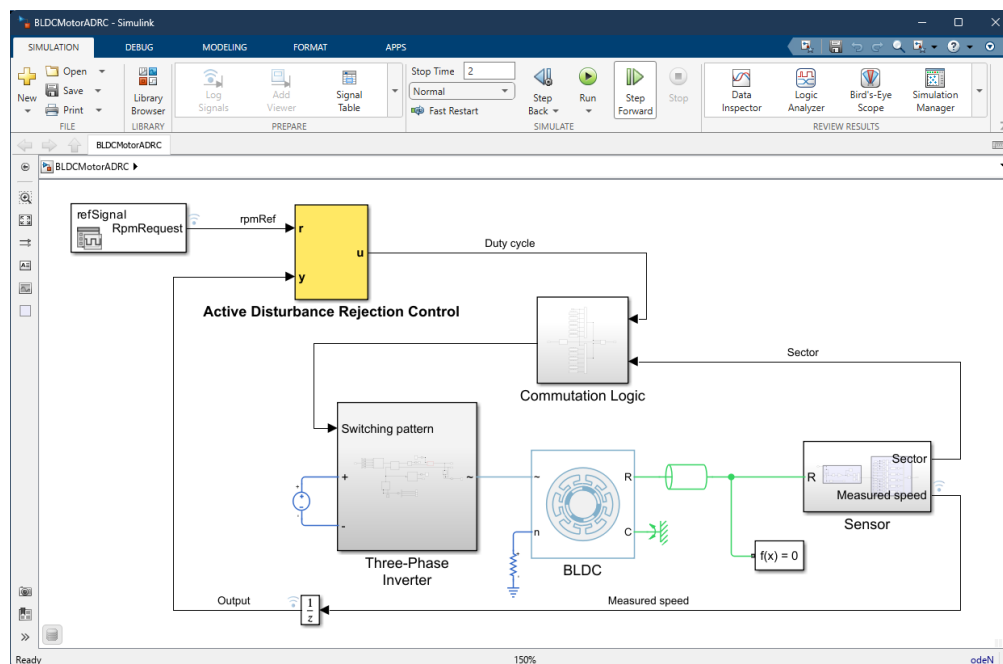


Ukázka: Řízení systému metodou ADRC



Příklady dalších řídicích systémů s ADRC regulátorem

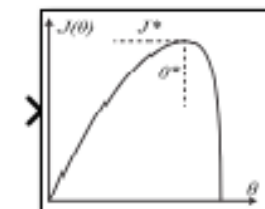
- Řízení BLDC a PMSM motorů, výkonové elektroniky a dalších



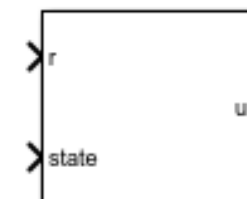
Adaptivní metody

Adaptivní řídicí systémy

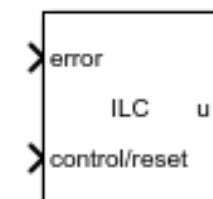
- Cílem je přizpůsobení se změnám soustavy
 - nepředvídané vlivy okolí, poruchy, změna dynamiky
- Dostupné metody
 - Extremum Seeking Control
 - Model Reference Adaptive Control
 - Iterative Learning Control
 - Sliding Mode Control
 - Virtual Reference Feedback Tuning



Extremum Seeking Control



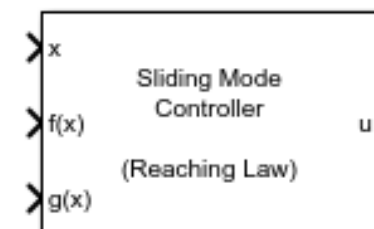
Model Reference Adaptive Control



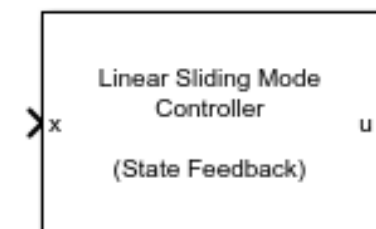
Iterative Learning Control



Virtual Reference Feedback Tuning



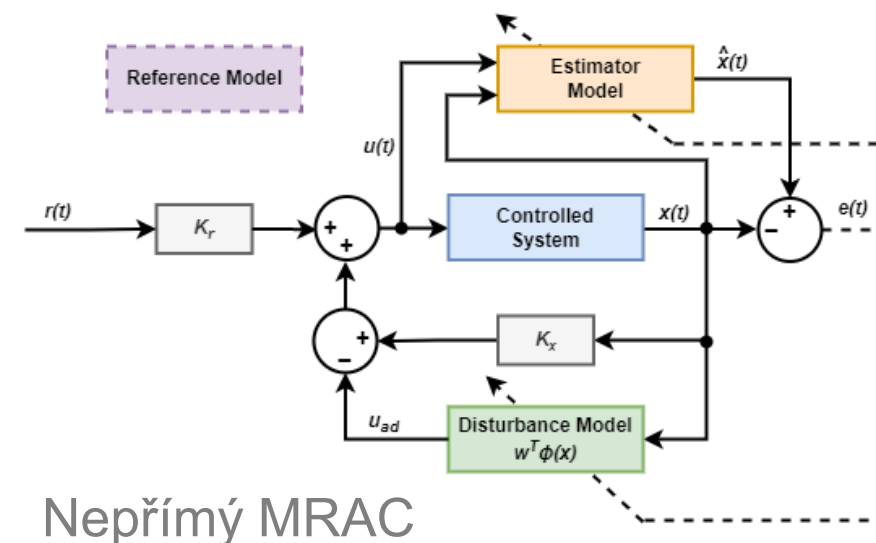
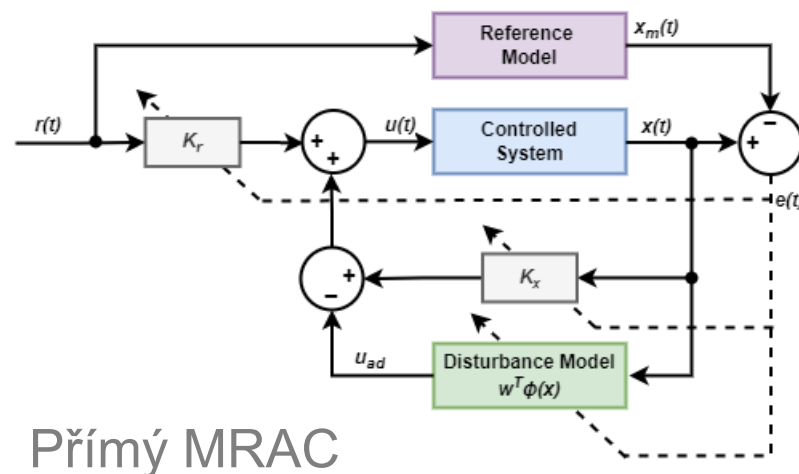
Sliding Mode Controller
(Reaching Law)



Linear Sliding Mode Controller
(State Feedback)

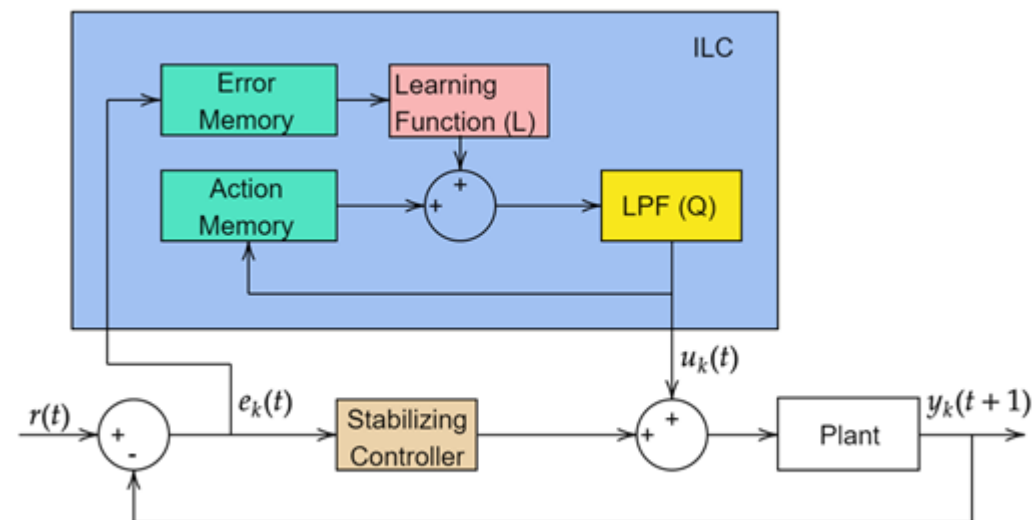
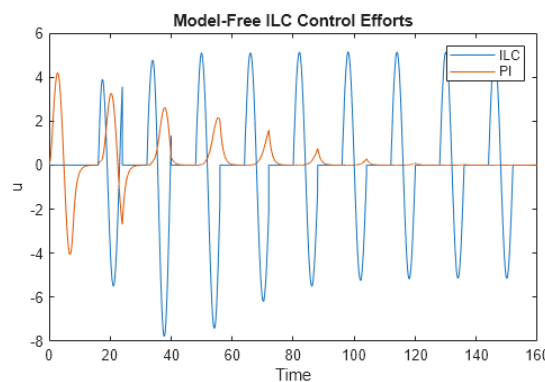
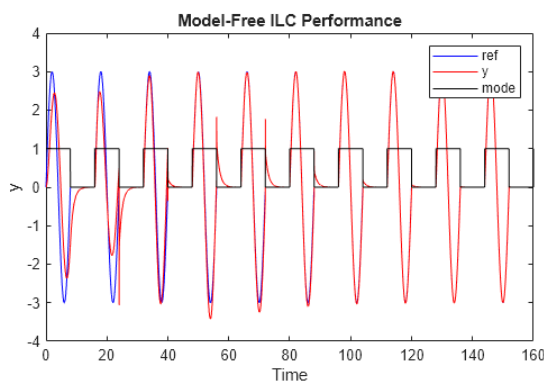
Model Reference Adaptive Control (MRAC)

- Umožní řízení systémů v případě neočekávaných změn
- Princip: adaptace, aby řízený systém sledoval chování referenčního modelu
 - odhad externích poruch a nejistých parametrů systému
 - model poruch: kromě „klasického“ může být i neuronová síť s jednou skrytou vrstvou
- Blok *Model Reference Adaptive Control*
- Dva typy:

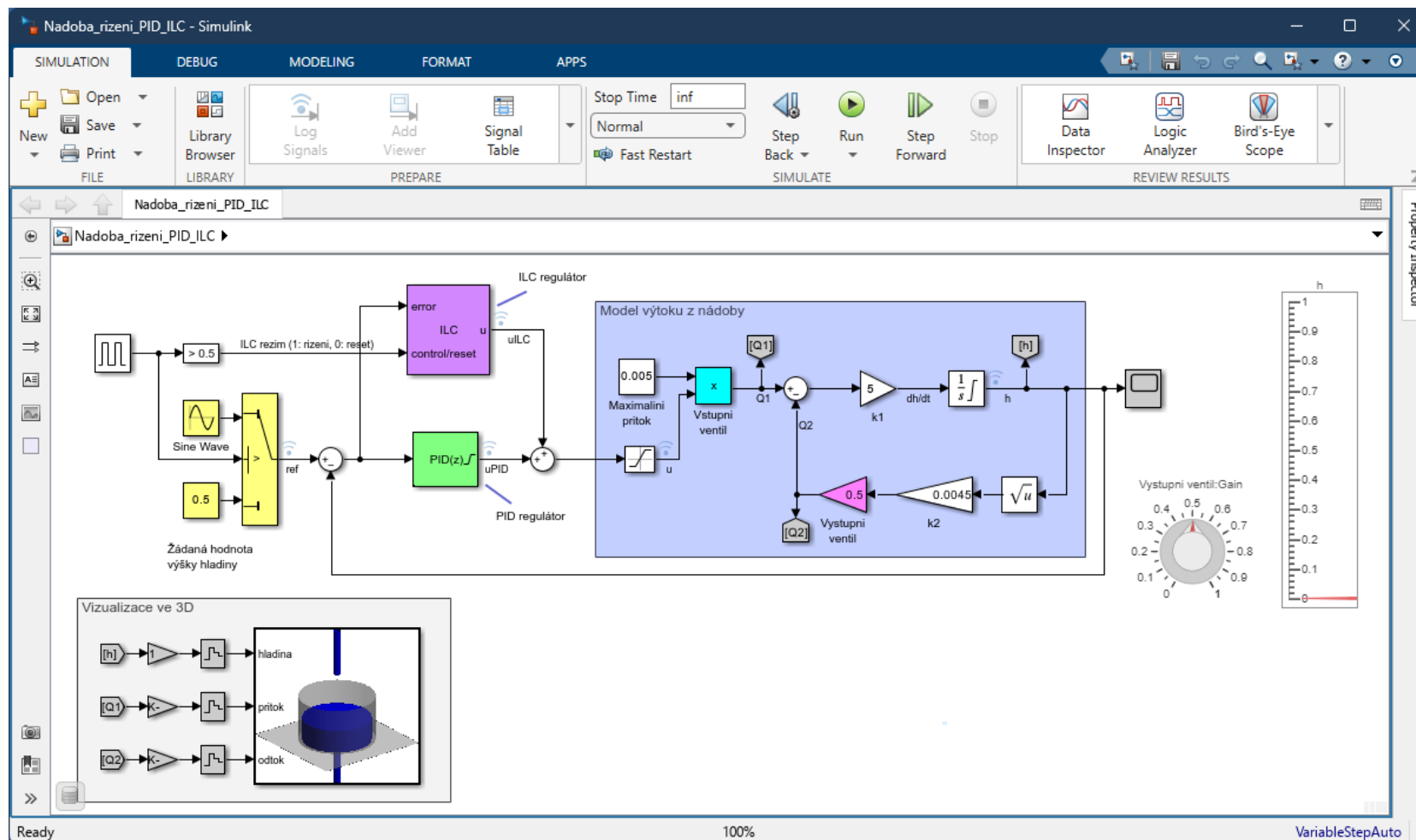


Iterative Learning Control (ILC)

- Cíl: Zlepšení výkonu opakujících se řídicích úkolů
 - průmyslové systémy, robotika, cyklické trajektorie UAV, ...
- Zapojuje se ve spojení se základním regulátorem (např. PID)
 - ILC se postupně učí z průběhu chyby v jedné iteraci a optimalizuje akční zásah pro následující
 - postupně zvyšuje svůj podíl na akčním zásahu oproti nominálnímu regulátoru
- Blok *Iterative Learning Control*



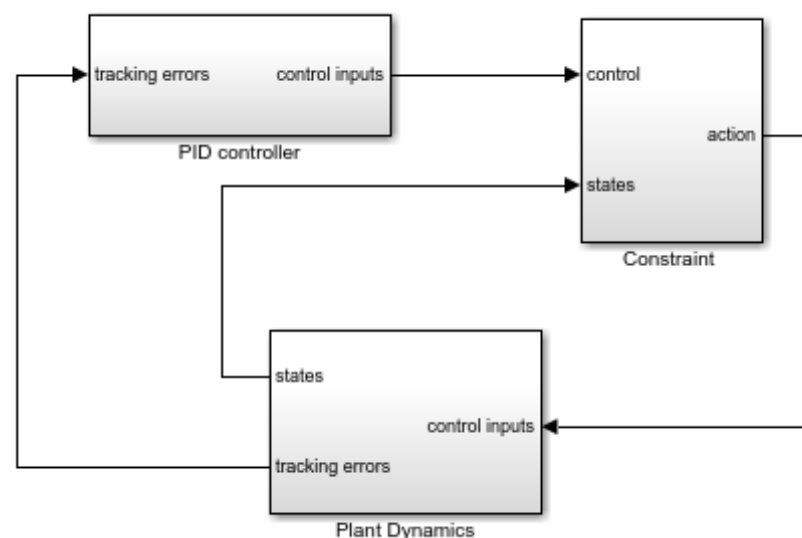
Ukázka: Řízení systému metodou ILC (model free)



Omezení akčního zásahu

Omezení akčního zásahu

- Omezení akčního zásahu na základě zadaných omezení
 - modifikovaný akční zásah u co nejbližše požadovanému u_0
 - řeší optimalizační úlohu (QP) v reálném čase
- Připravené bloky
 - Constraint Enforcement, Barrier Certificate Enforcement, Passivity Enforcement



Blok Constraint Enforcement řeší:

$$\min_u |u - u_0|^2$$

$$f_x + g_x u \leq c$$

$$u_{min} \leq u \leq u_{max}$$

omezení
limity akčního zásahu

Děkuji za pozornost.

Otázky?

Kontakty



- Pro technické dotazy využijte naši technickou podporu
 - email: support@humusoft.cz
 - tel.: +420 602 231 500
 - <https://www.humusoft.cz/matlab/support/>
- Všeobecné dotazy
 - email: info@humusoft.cz
 - tel.: +420 284 011 730
- Nebo můžete využít náš kontaktní formulář
 - <https://www.humusoft.cz/contact/#contact>

Adresa:

Pobřežní 20
186 00 Praha 8
Česká republika

Web:

www.humusoft.cz

