

Testování elektrického pohonu v reálném čase

Kristian Hudec
hudec@humusoft.cz

Technické pozadí

Simulování výkonové elektroniky je náročný úkol

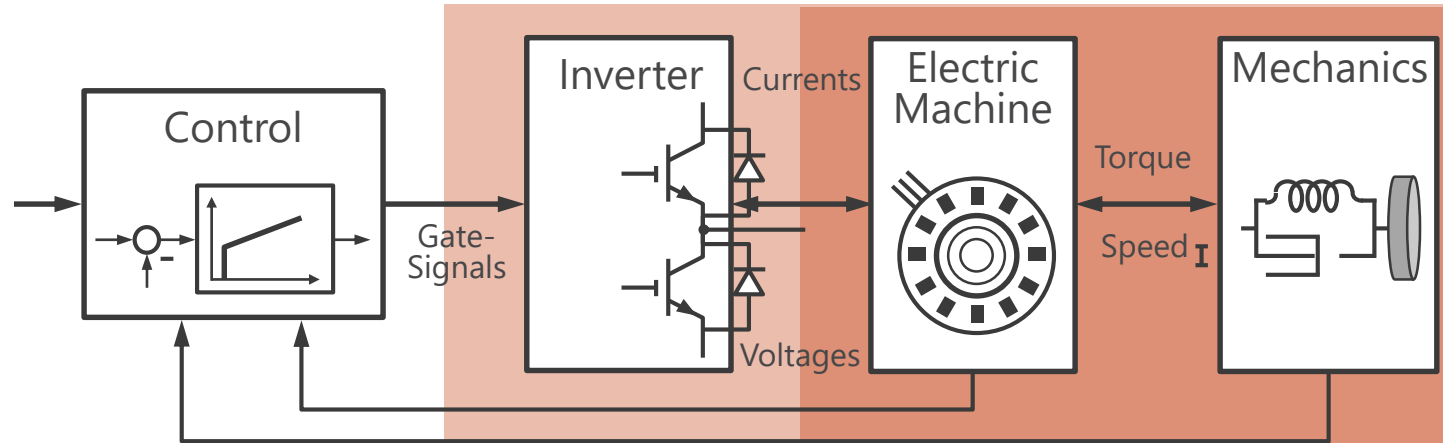
- Vysoké spínací frekvence výkonových prvků
- Vysoká dynamika v porovnání s typickými mechanickými systémy
- Mění se se struktura obvodu díky polovodičovým součástkám
- Rozmanitost el. Topologii (malá změna v topologii zapojení může vést k diametrálně odlišným diferenciálním rovnicím)

Požadavky na simulaci si odporují

- Přesnější simulace -> vyšší nároky na výpočetní výkon
- Snížení výpočetní náročnosti -> obvykle vyšší nároky na paměť
- Redukce výpočetní a paměťové náročnosti -> zjednodušení modelu na úkor přesnosti

Co můžeme simulovat

Hardware-in-the-Loop (HIL) simulace pro testování řídicích jednotek (ECU)



ECU	Real-Time Simulation	Signalová úroveň HIL
ECU	Real-Time Simulation	Výkonová úroveň HIL

Obecné výzvy simulace elektrických pohonů

Technologie E-Drive se neustále vyvíjí

- **Optimalizované motory** – Nové architektury motorů se specifickým počtem fází a buzení
- **Hustota energie** – Zvyšující se spínací frekvence a vysoká úroveň integrace → snížená přístupnost
- **Přesnost řízení** – Nové přístupy, např. přímé řízení momentu a kompenzace nelinearit
- **Spolehlivost** – Citlivé diagnostické funkce a komplexní záložní (fail-back) režimy
- **Snižování nákladů** – Menší počet senzorů vede ke složitějším metodám řízení

Kvalifikace aplikačně specifických zpětnovazebních regulátorů se všemi jejich specifickými vlastnostmi

- **Front load** – Rozsáhlé testování bez skutečného motoru
- **Provozní bezpečnost** – Simulace správného i chybného chování (diagnostika a fail-back)
- **Realistické chování systému** – Testování regulátoru a motoru až na hranice (např. výkonová charakteristika)

Simulace el. Pohonu - Motor

Identifikace požadavků

- Charakteristiky specifické pro motor
- Požadavky na model z hlediska řízení
- Požadavky na přesnost dané aplikací

Výzvy při testování motorů

- Nalezení správné míry přesnosti pro virtualizaci pohonu
- Vyvážení běhu v reálném čase, flexibility a věrnosti simulace
- Dosažení optimálního poměru nákladů a přínosů

Drive Physics

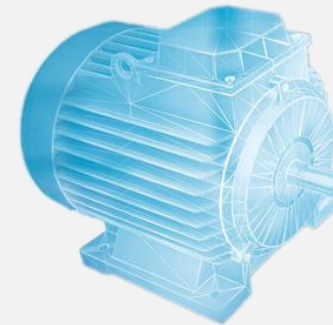
Characteristic dependencies
(current, position, temperature, etc.)

Motor type
(PMSM, IM, etc.)

Motor commutation
(sinusoidal, trapezoidal, etc.)

Application Field

Target drive control
(current, speed, position, etc.)



Simulation Model

Mathematical approach
(equation, maps, state-space)

Coordinate system
(a/b/c, α/β , d/q, l/k)

Parameter
(characteristic data or maps)

Real-Time Embedding

Real-time platform
(processor, FPGA)

Sampling strategy
(synchronized, over-sampling)

Simulace el. Pohonu - Měnič

Relevantní komponenty

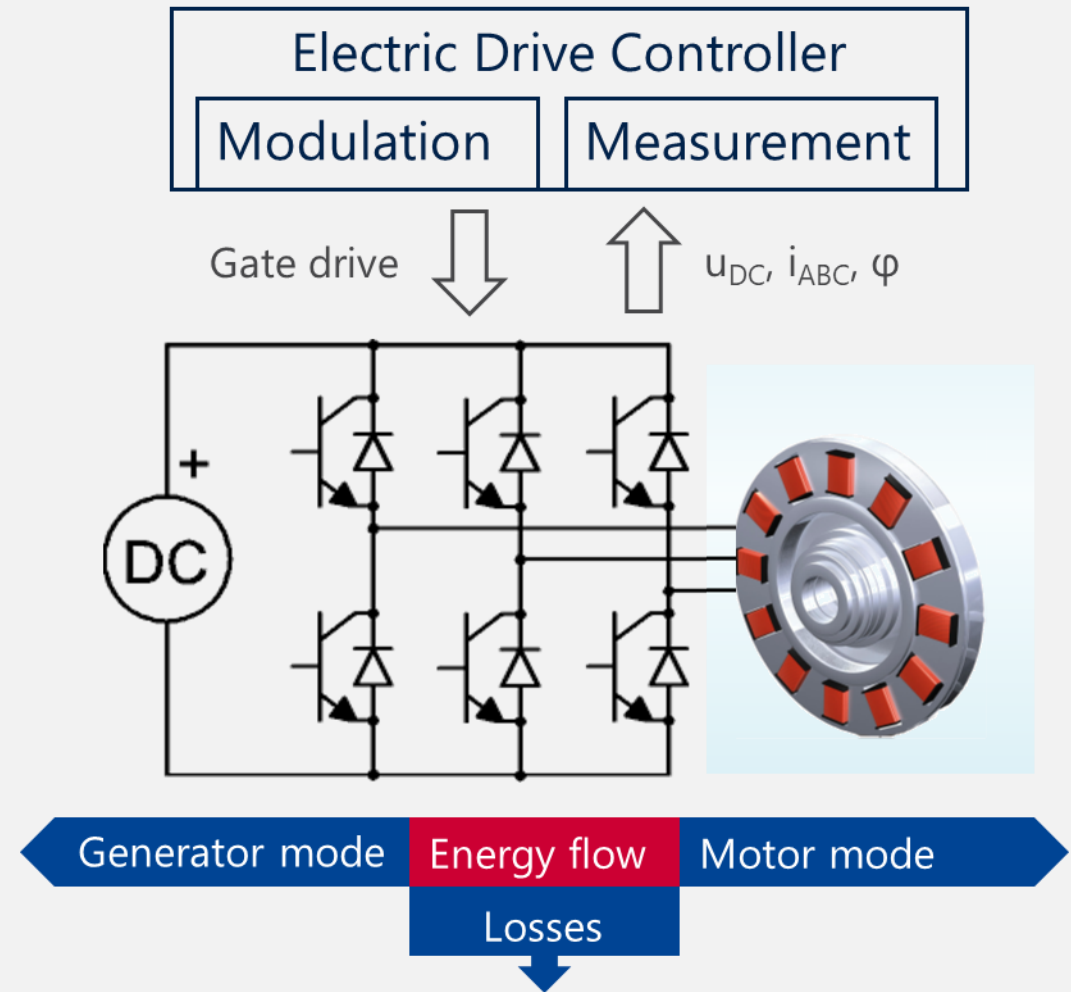
- Napájení nebo baterie
- DC meziobvod
- Měnič

Základní zohlednění

- Celková topologie
- Použité výkonové spínače

Požadavky na simulaci

- Provoz motoru
- Simulace ztrát
- Simulace poruch



Řešení HIL simulace elektrické pohony

Software

ASM Electric Components

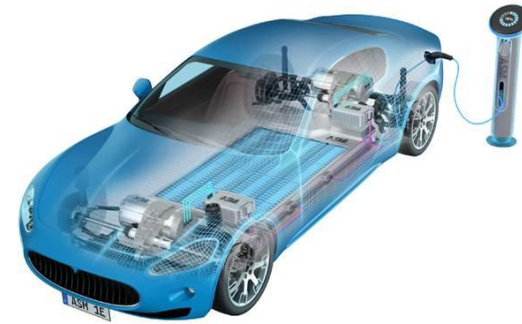
Modely elektrických pohonů pro simulace na bázi procesoru

XSG Electric Components

Modely elektrických pohonů pro simulace na bázi FPGA

dSPACE Generic Drive Model (GDM)

Pokročilé modely elektrických pohonů pro simulace na bázi FPGA

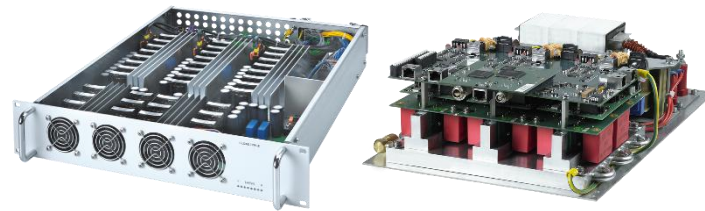


Hardware

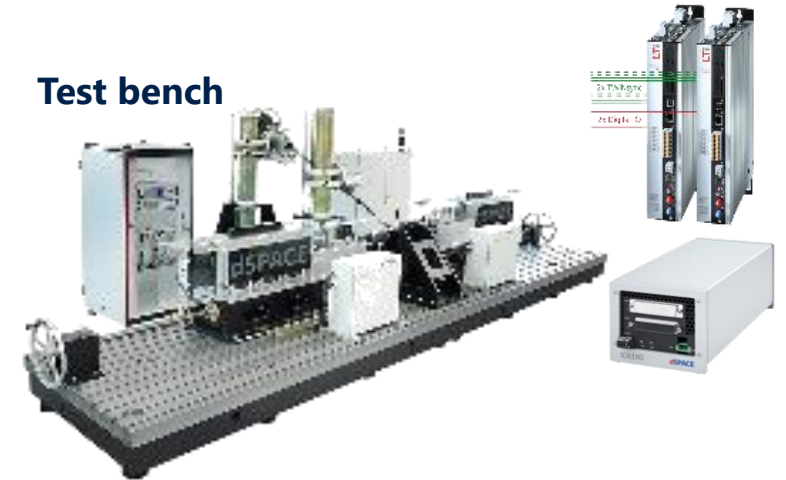
SCALEXIO real-time hardware



Emulátory



Test bench



Signal Level Simulation

Power Level Simulation

Mechanical Level Simulation

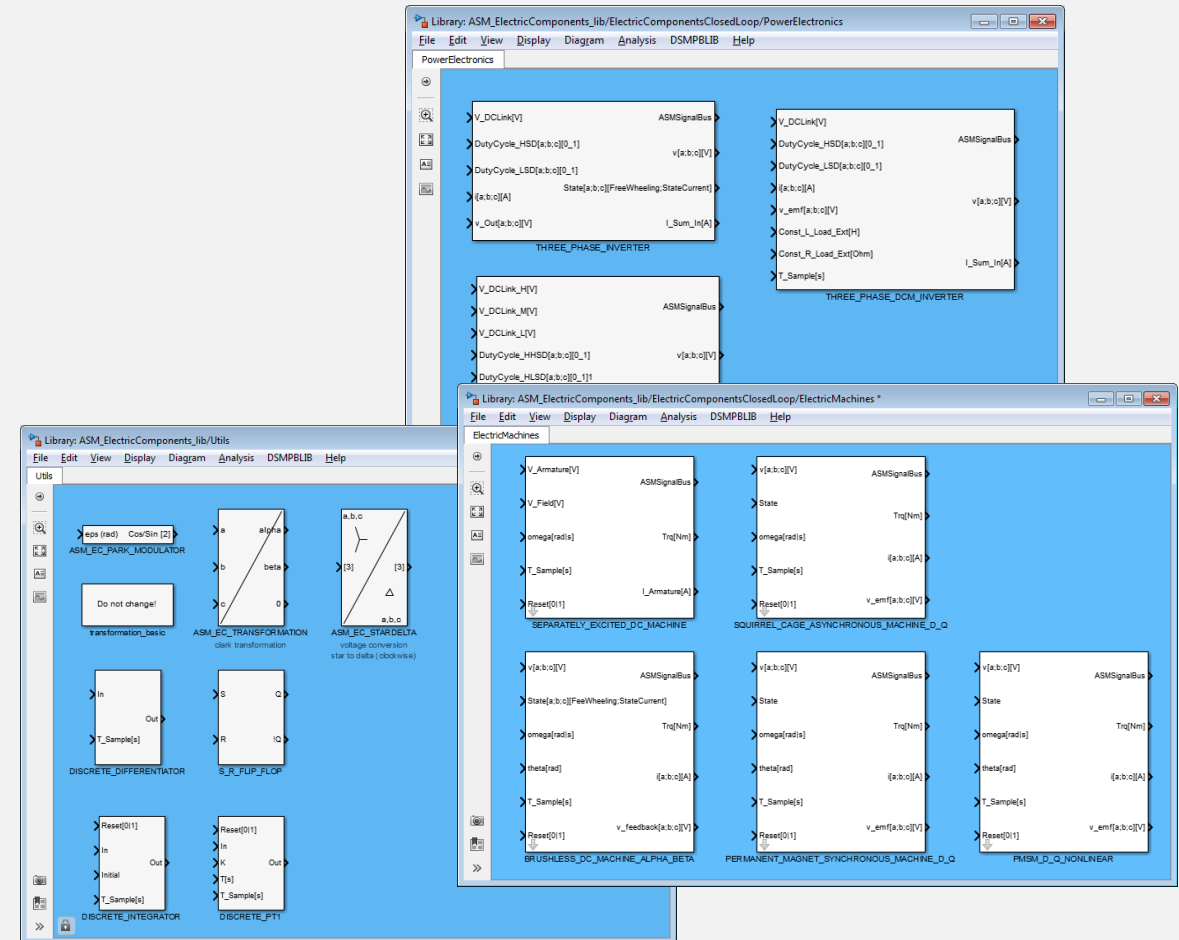
Simulace na bázi procesoru – ASM modely

Přehled vlastností

- **Ready-to-use** modely pro simulaci elektrického pohonu
- **Rychlé výsledky** s předpřivenými demo modely
- **Jednoduchá parametrizace**

Hlavní komponenty

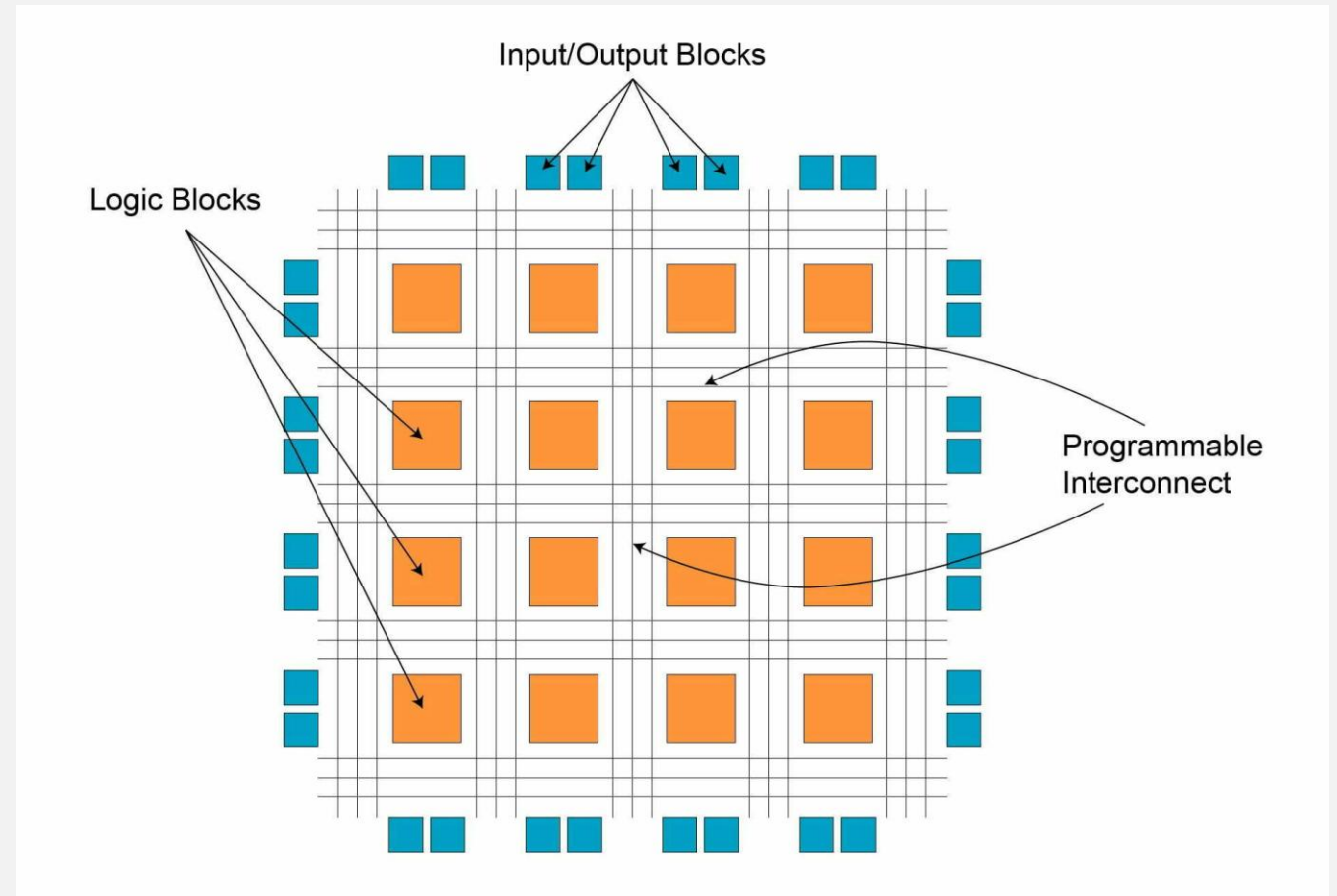
- **PMSM** (d/q-frame)
- **PMSM nonlinear** (d/q-frame)
- **BLDC** (α/β -frame)
- **SCIM** (d/q-frame)
- **Three-phase inverter**
- **Three-level three-phase inverter**
- **Controller** (BLDC, PMSM, SCIM)



Simulace na bázi FPGA

Co jsou FPGA

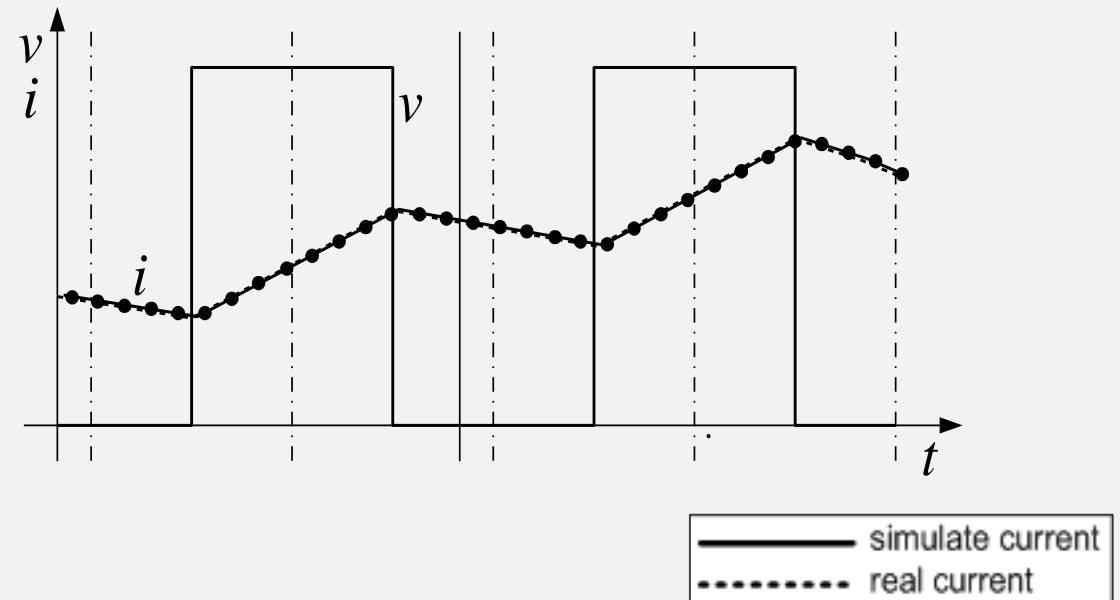
- programovatelná hradlová pole
- umožňují paralelní hardwarovou implementaci algoritmů přímo na úrovni logiky



Simulace na bázi FPGA

Výhody použití FPGA

- Vzorkovací frekvence je mnohem vyšší než spínací frekvence u ECU
- Kvazi-spojité výstup proudu bez zpoždění (simulace PWM)
- Možnost řízení elektrických zátěží
- Nízká zátěž na procesor



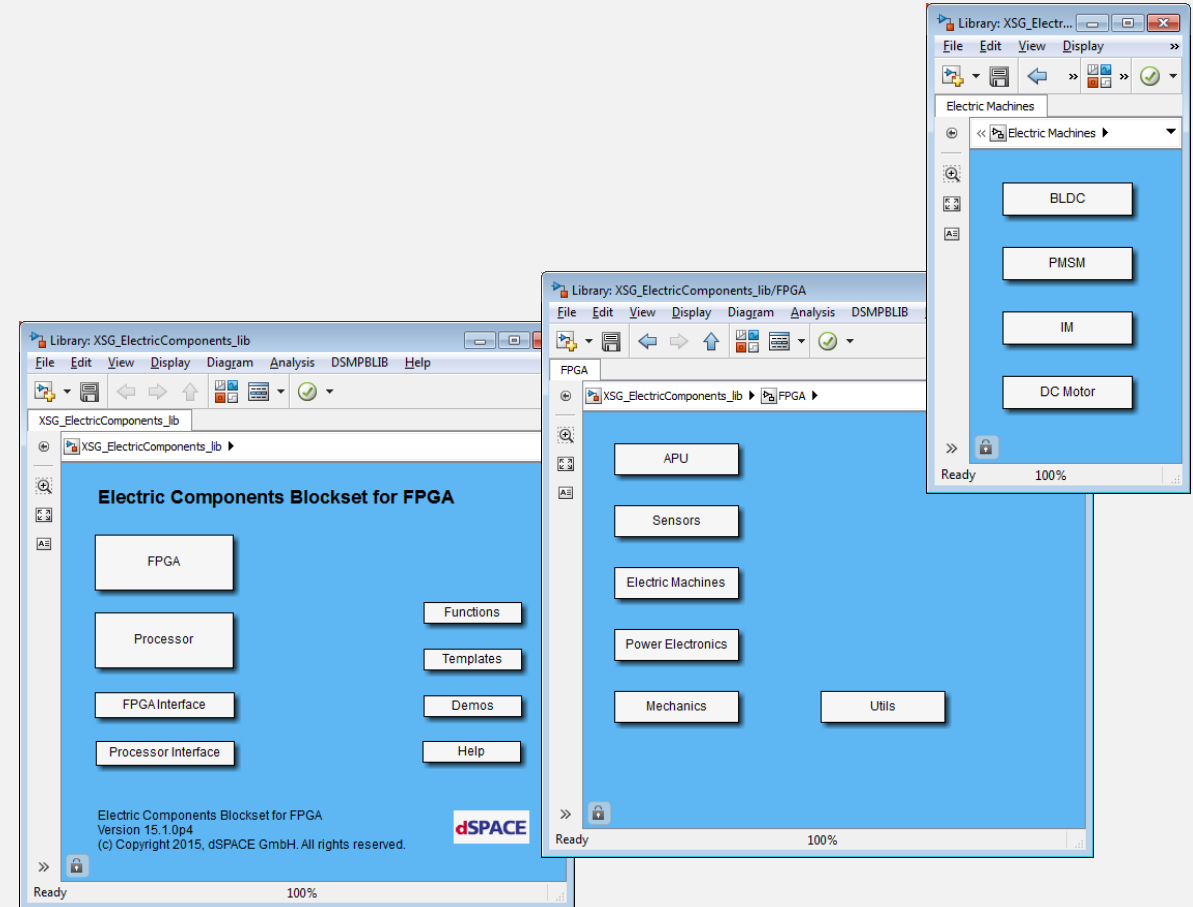
Simulace na bázi FPGA – XSG modely

Přehled vlastností

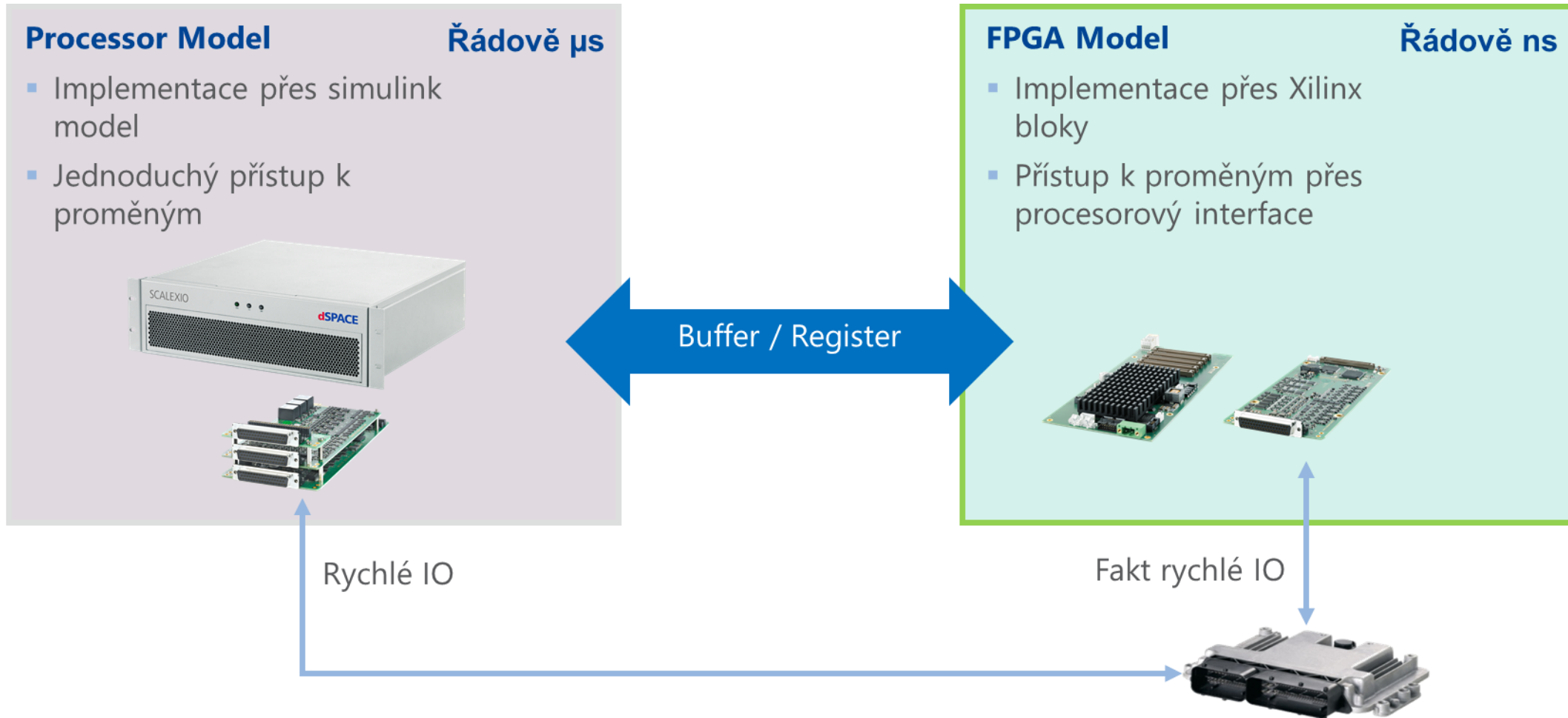
- Zahrnuje modely elektrických pohonů a nezbytné I/O funkce
- Demo modely obsahující regulátory, výkonovou elektroniku, elektromotor a senzory

Hlavní komponenty

- **3-phase PMSM** (d/q-frame)
- **3-phase BLDC** (α/β -frame)
- **3-phase SCIM** (α/β -frame, d/q-frame)
- **3-phase SESM** (d/q-frame)
- **3-phase inverter** (2- & 3-level)
- **Positon Sensors** (e.g. resolver, encoder)
- **Mechanics model**



Rozhraní práce procesoru a fpga



Děkuji za vaši pozornost