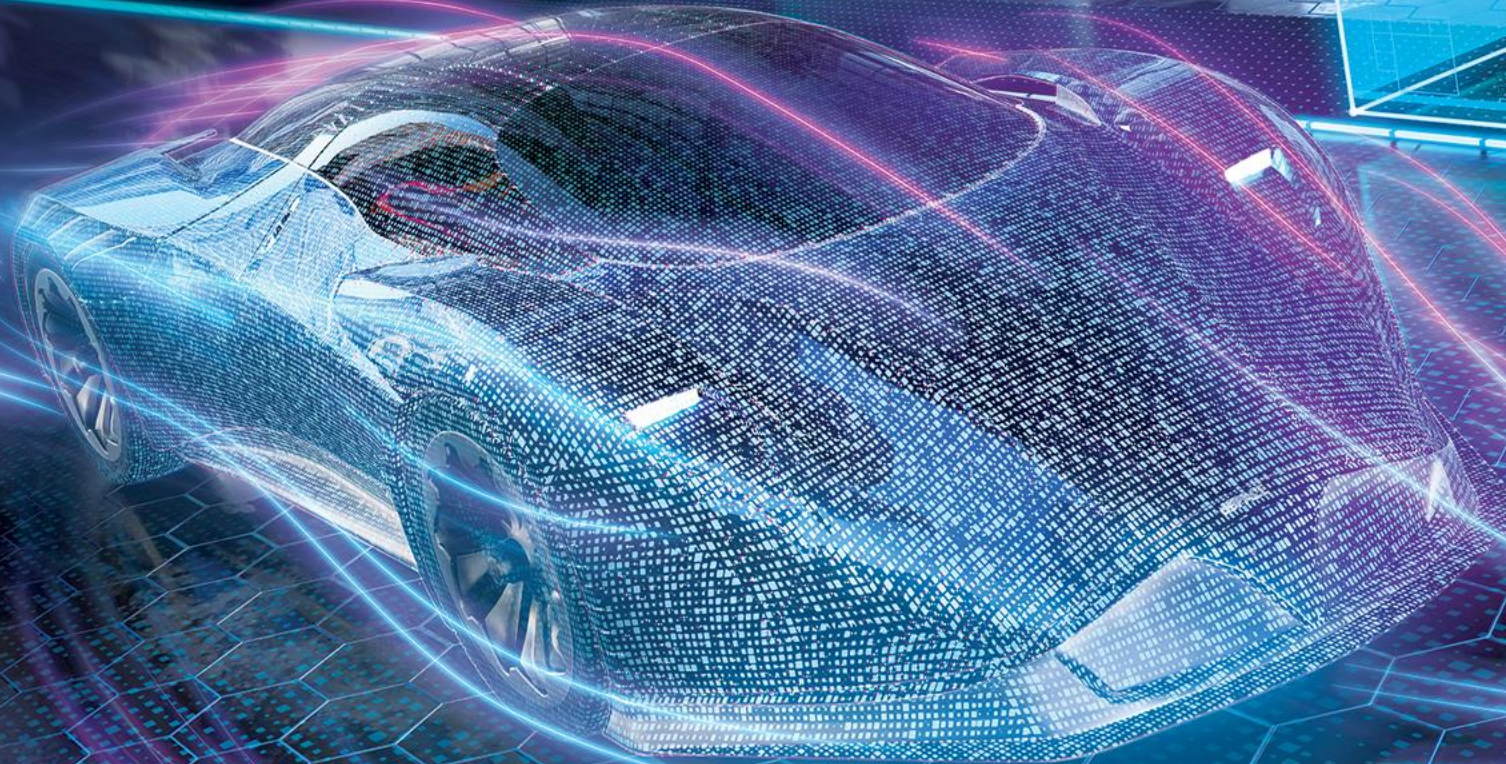


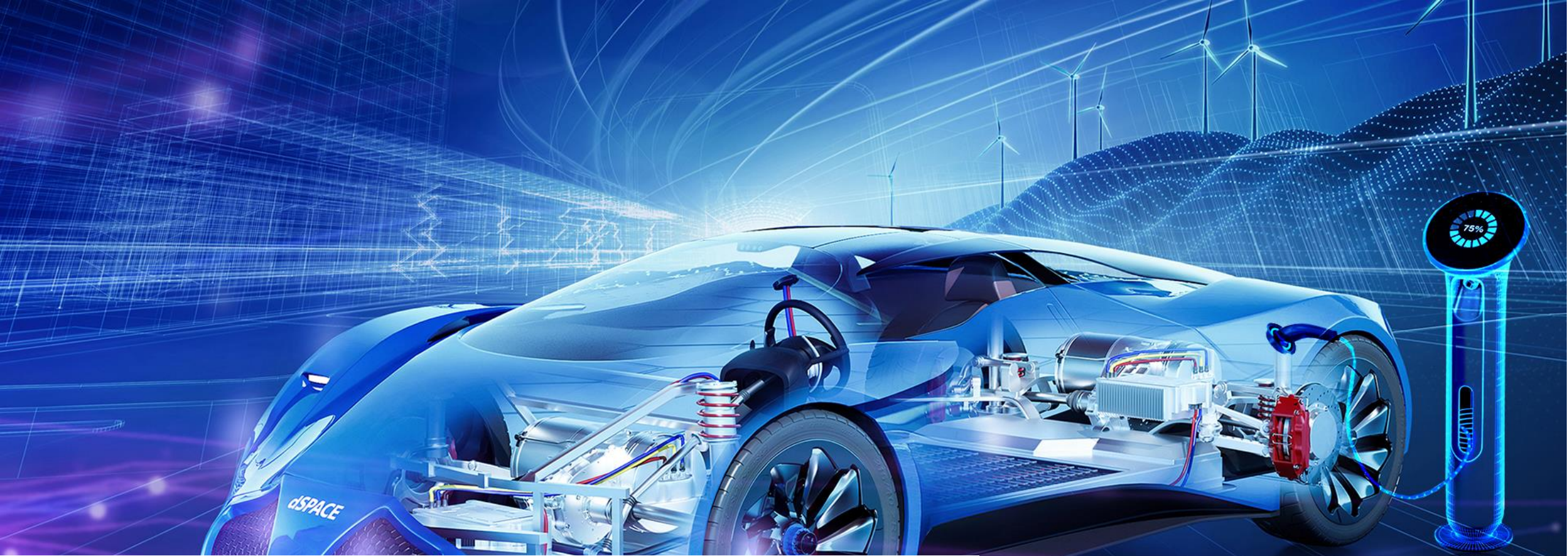
Your Partner in Simulation and Validation





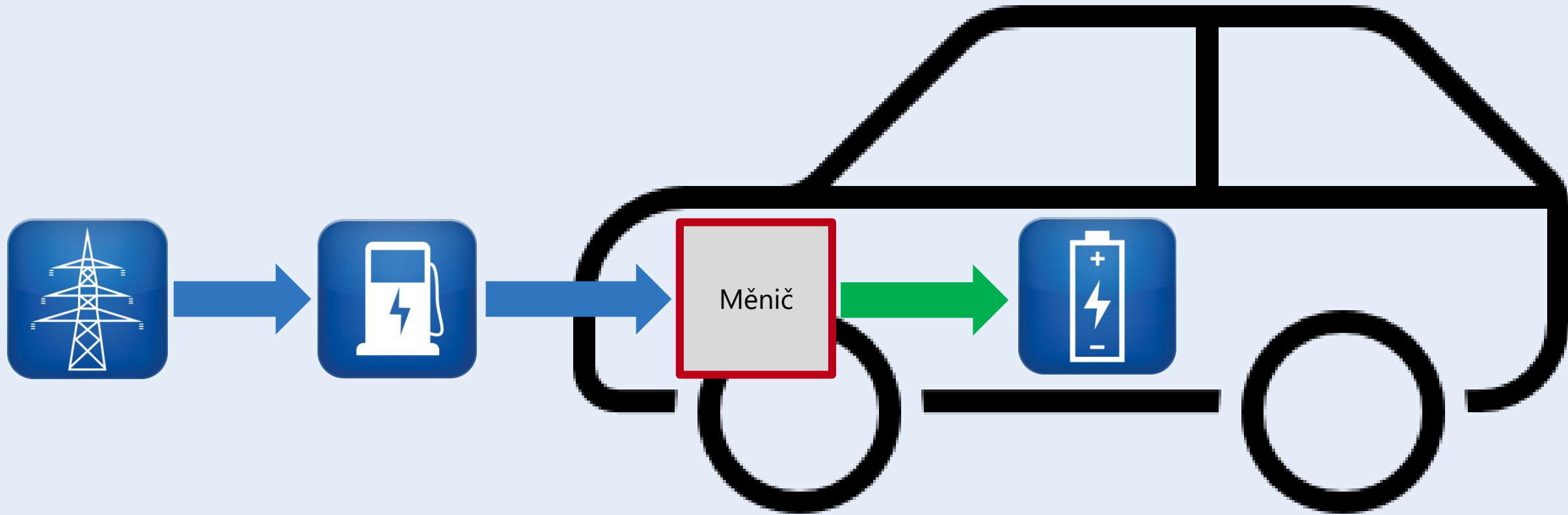
Simulace výkonové elektroniky v prostředí dSPACE

Tomáš Fridrich, Humusoft, 2025



Aktuální situace simulování výkonové elektroniky

O čem se bavíme?

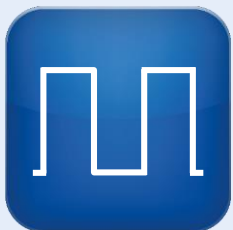


Trendy ve výkonové elektronice v Automotive



Výkonnější palubní měniče

- Menší rozměry a hmotnost, při zachování nebo zvýšení výkonu



Navyšování spínací frekvence

- DC/DC měniče > 400 kHz
- Střídače > 20 kHz



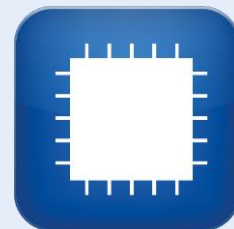
Počet spínaných prvků

- Složitější topologie



Napětí palubní sítě

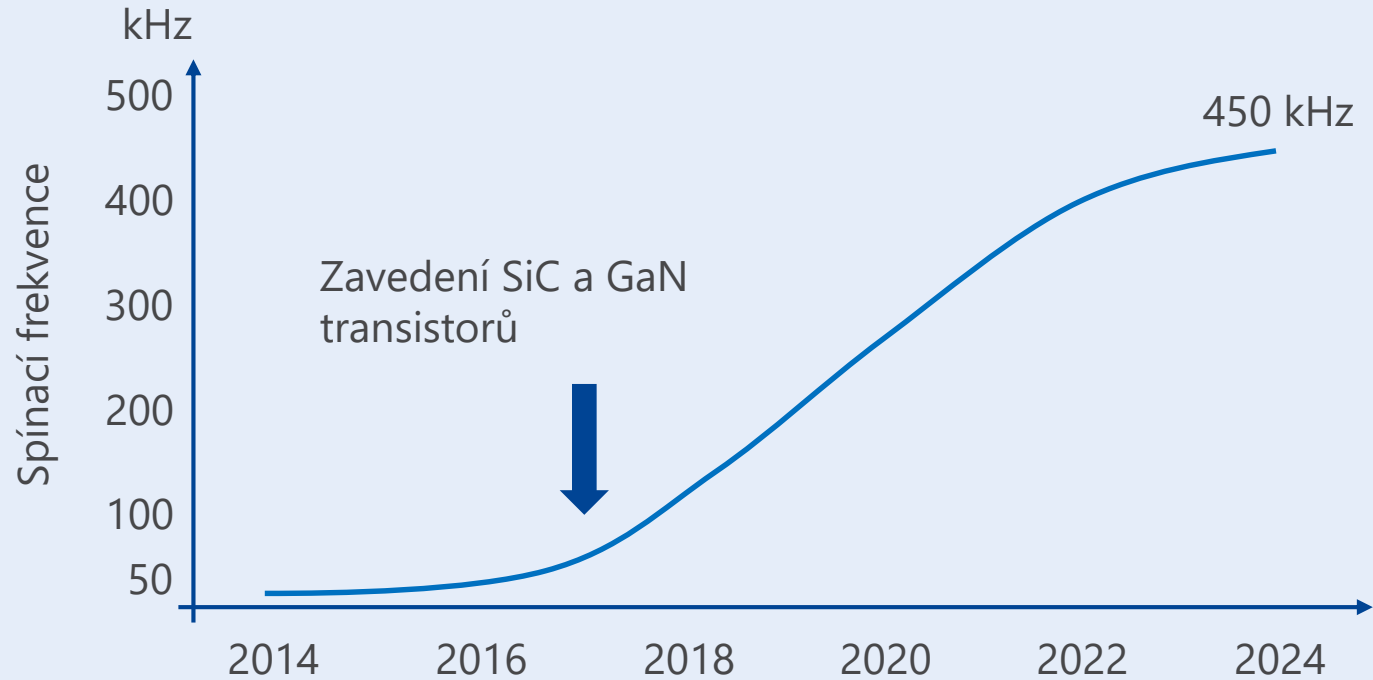
≥ 800 V DC



Komplikovanější řízení

- Vyšší nároky na bezpečnost

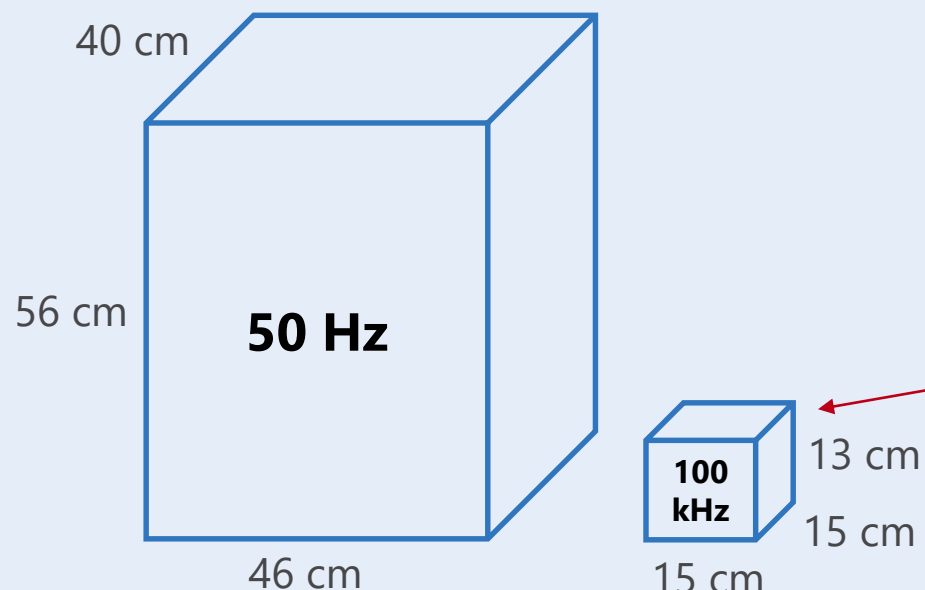
Vývoj spínací frekvence ve výkonové elektronice v automotive



Frekvence a transformátor

40 kVA, 50 Hz
Celková hmotnost: 190 kg
Měď: 56 kg
Objem: ~103.000 cm³

Příklad: Trafo Modern, Model ETF40



Zdroj: Wikipedia

42 kVA, 100 kHz
Celková hmotnost: 6,6 kg
Měď: 2,2 kg
Objem: ~2.900 cm³

Příklad: Tauscher Transformatoren,
Model UU 93/152/90

2000 x zvýším frekvenci

- ~96 % nižší váha
- 96 % méně mědi
- 97 % menší objem

Různé úrovně výkonu

Energetika

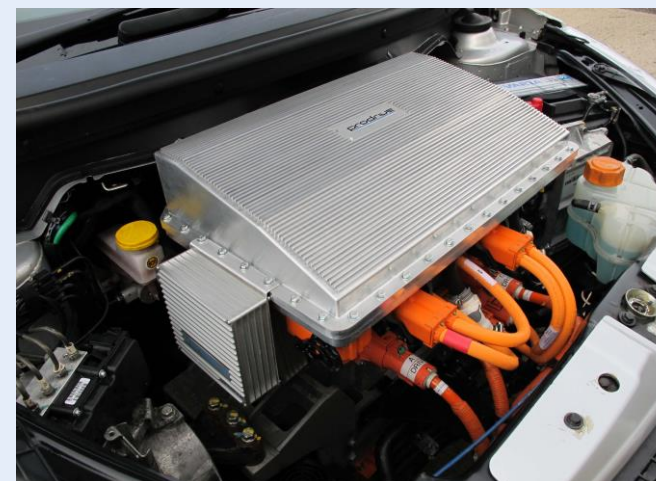
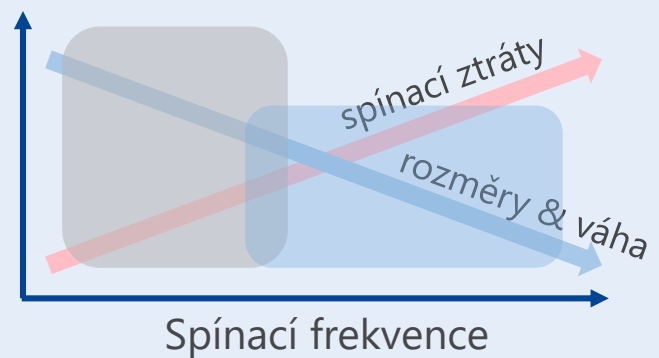
Marinus Link: 750 MW high-voltage DC converter station



Zdroj: Hitachi Energy

- Nejdůležitější je účinnost
- Rozměry nejsou moc důležité

Automotive



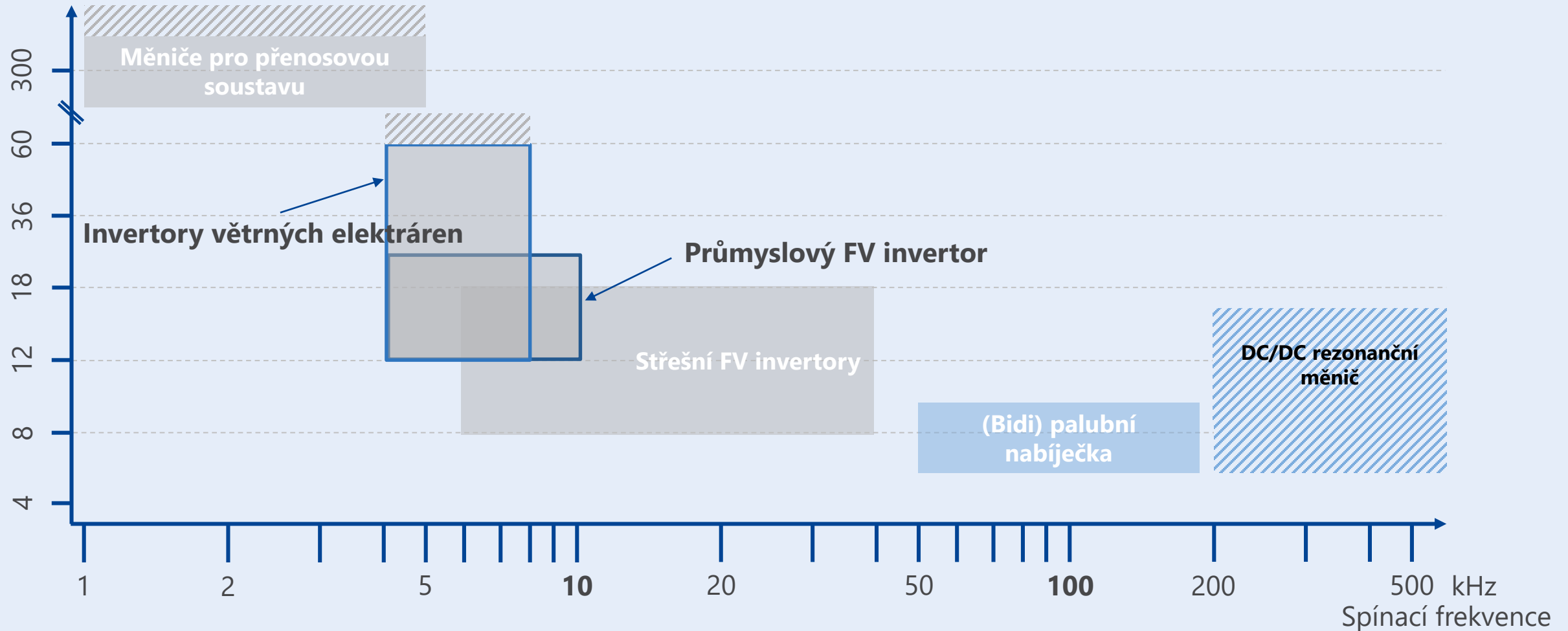
- Malé rozměry
- Nízké výrobní náklady

Spínací frekvence měničů a inverterů

Energetika

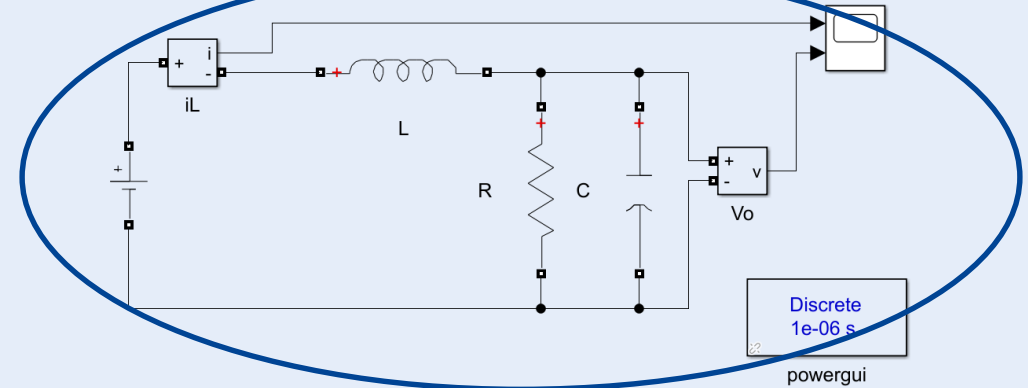
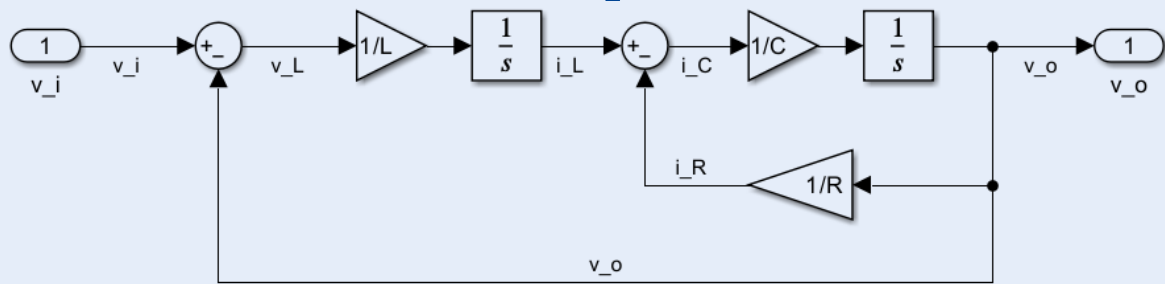
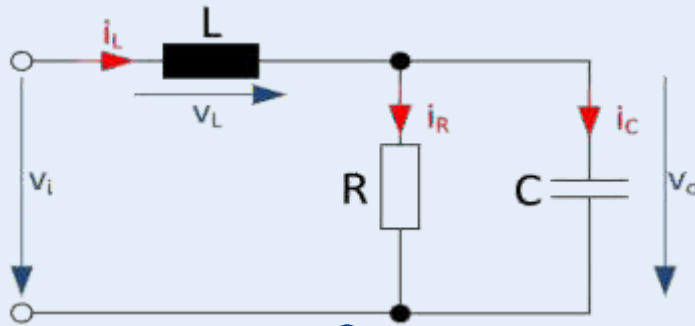
Automotive

Počet spínačů



Modelování elektrických obvodů

Schéma zapojení

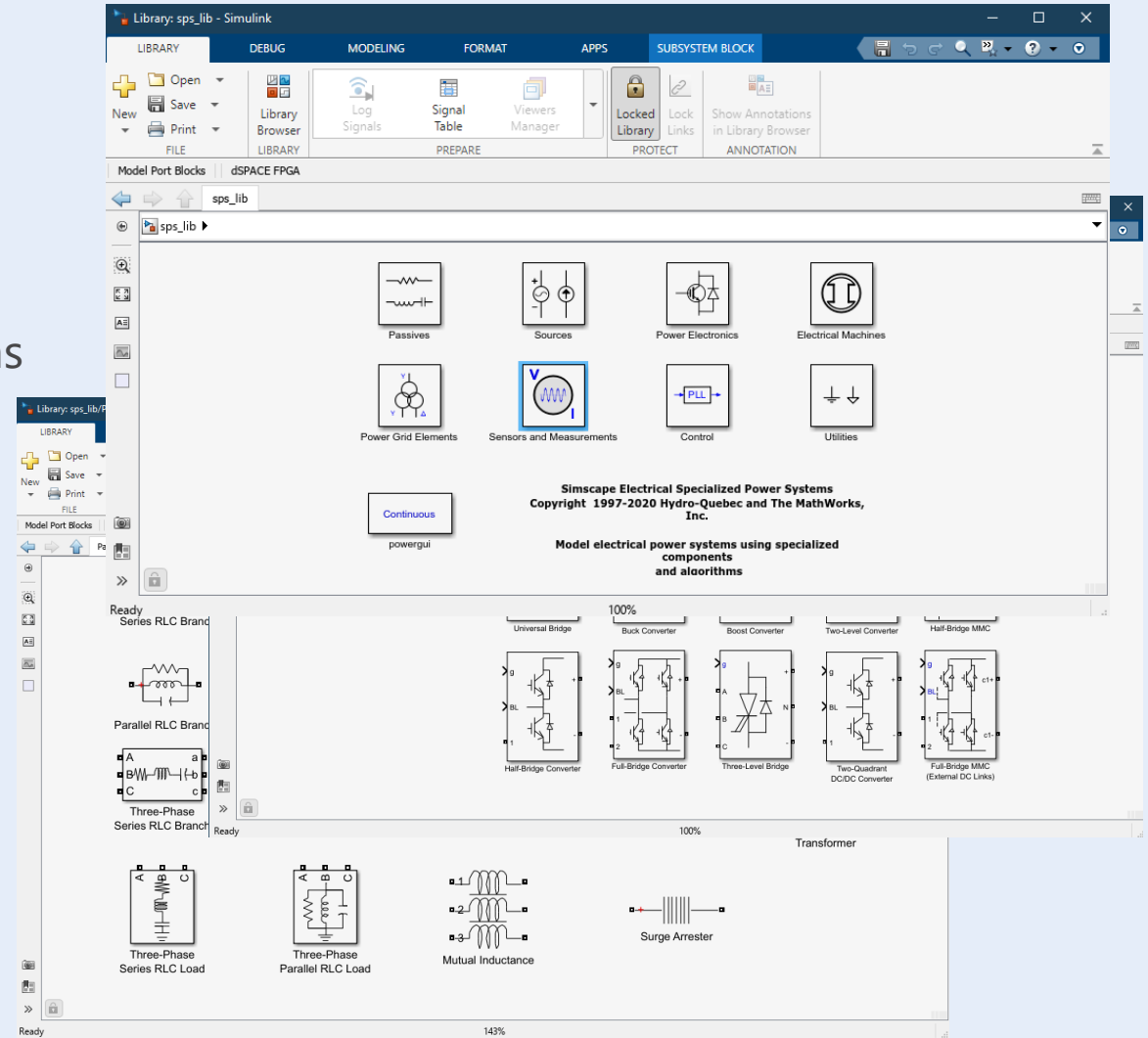


Electrical Power Systems Simulation (EPSS)

- Topologicky orientované modelování
- Knihovna Simscape Electrical Specialized Power Systems
- Možnost generovat Real-time kód

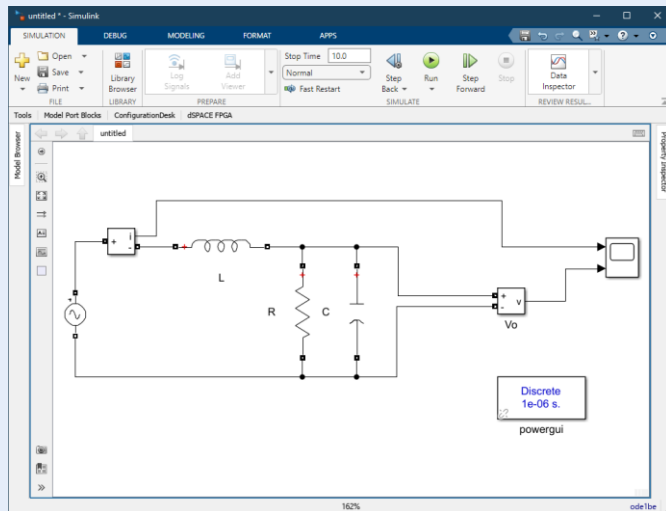
Obecná omezení

- Limitované sledování parametrů
- Bez nelinearit
- Dobrých výsledků lze dosáhnout variabilním krokem, nebo fixním s malým krokem
- Rozpojení obvodu (dioda, tranzistor= změna topologie zapojení), potřeba znovu spočítat obvod

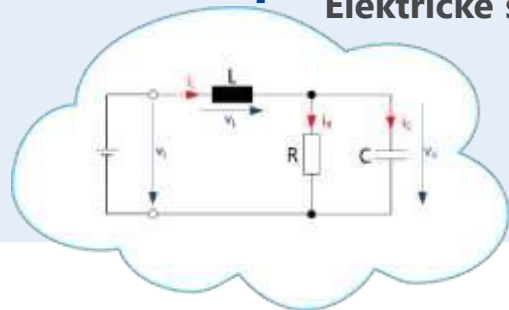


Electrical Power Systems Simulation

Simscape Electrical
Specialized Power
Systems model

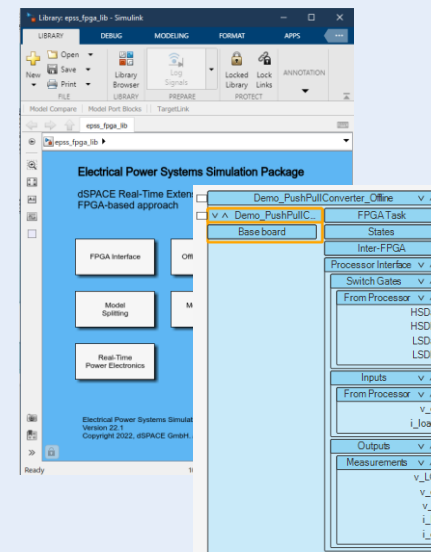
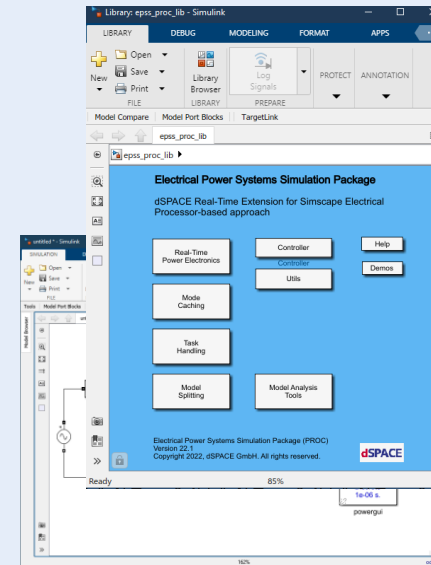


Elektrické schéma



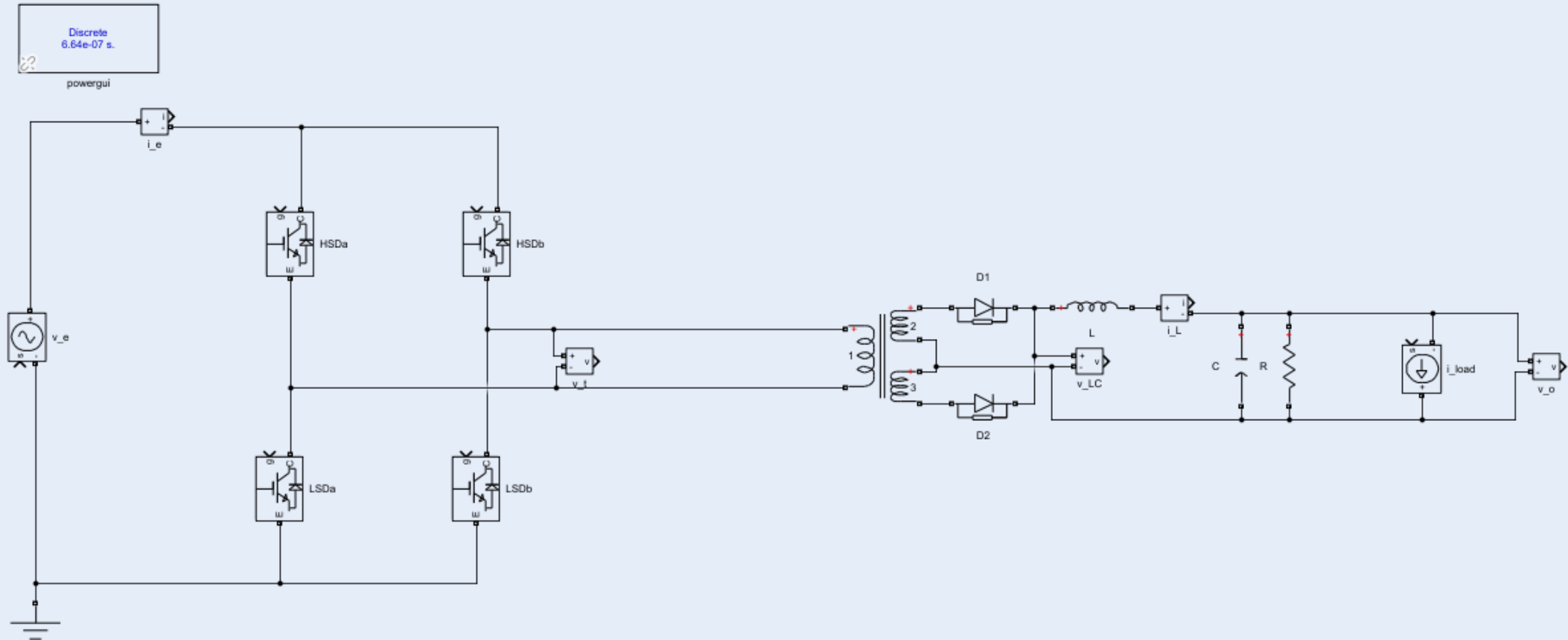
Processor
~25µs

FPGA
~400ns ... ~2.5µs



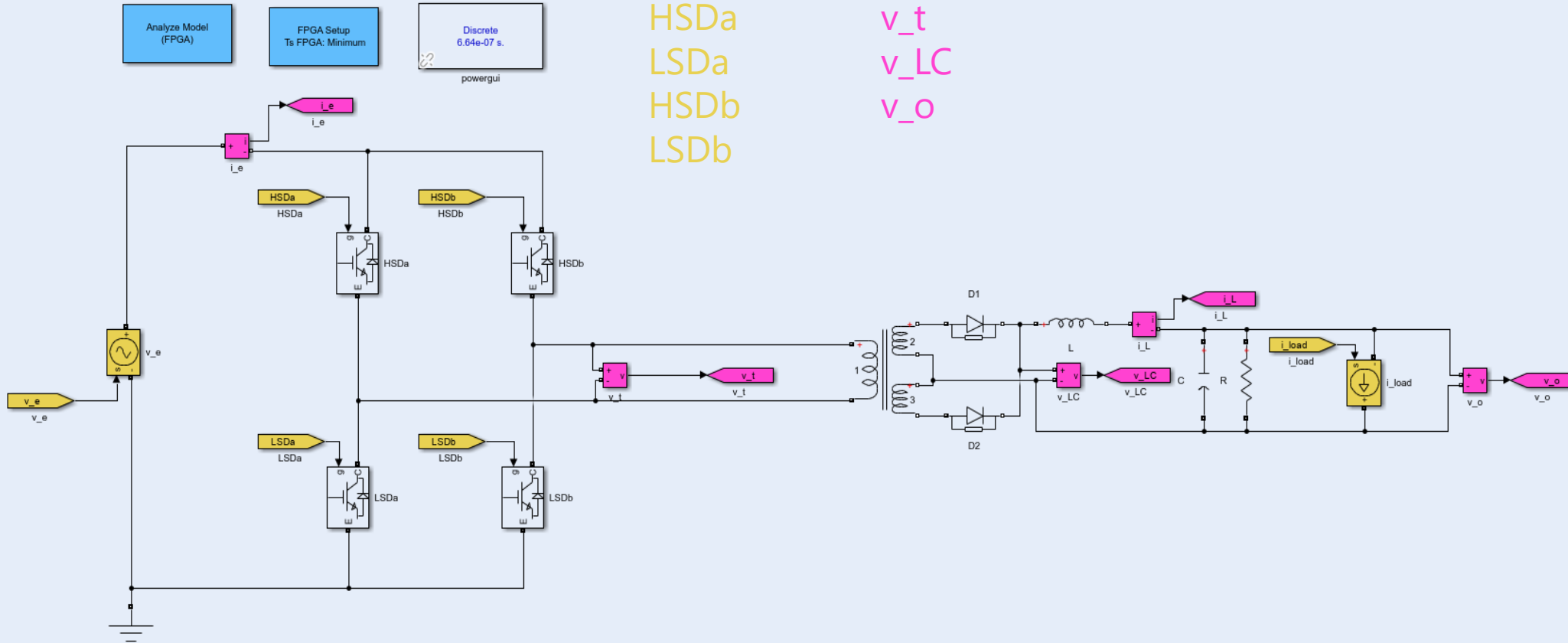
Electrical Power Systems Simulation - FPGA

- Vytvoření modelu z Simscape Electrical Specialized Power Systems bloků

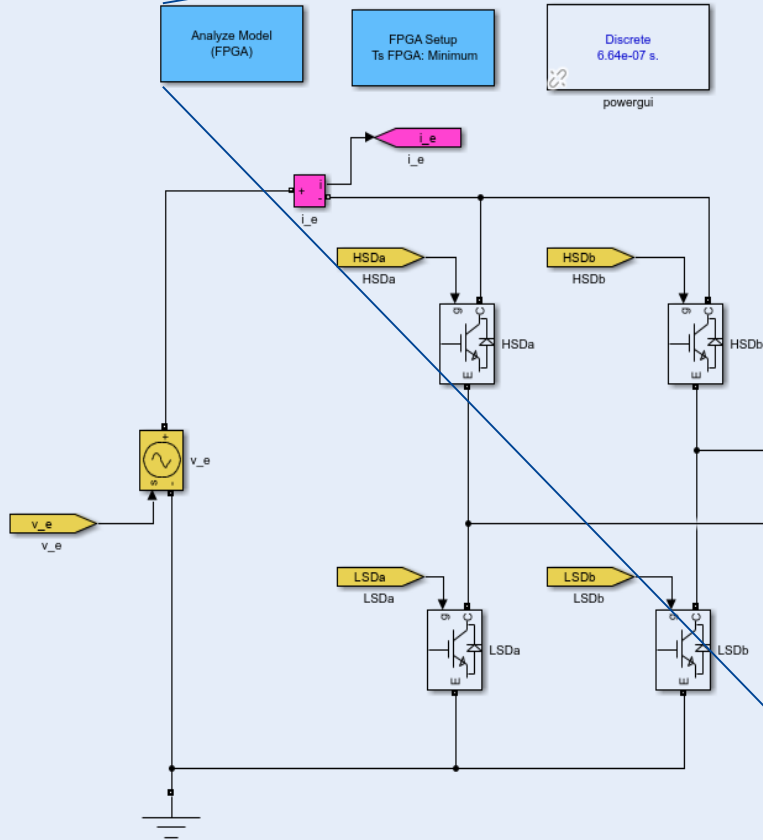


Electrical Power Systems Simulation - FPGA

- Vstupy
v_e
HSDa
LSDa
HSDb
LSDb
- Výstupy
i_e
v_t
v_LC
v_o



Electrical Power Systems Simulation - FPGA



Web Browser - EPSS FPGA Analyze Model (Demo_PushPullConverter_Simscape.slx)

EPSS FPGA Analyze Model (Demo_PushPullConverter_Simscape.slx) x +

Location: file:///C:/FPGA/EPSS/Humusoft/simulation/Demo_PushPullConverter_Simscape_EPSS_FPGA.html

Automatic generated file containing information about the Simscape Electrical model Demo_PushPullConverter_Simscape.slx

Date: 01-Apr-2025; Time: 10:20

Analyzed Model / File: Demo_PushPullConverter_Simscape

Model overview

General properties		Model dimensions		Numerical algorithms	
Model name	Demo_PushPullConverter_Simscape	States	2	Solver type	Backward Euler
Description	Push-pull converter	Inputs (without switch currents)	4	Compensation	disabled
FPGA type	DS6601_KU_035	Outputs	11	Output iterations	2
Precision	SINGLE	Switches	6	Model splitting	disabled
Simulation step size	7.44e-07 s	Equivalent circuits	1	Exclusion of switch combinations	disabled
FPGA build	DS6601_KU_035_Var12.epssfpga	Matrix sets	64		

FPGA capability check

The Simscape Electrical model is ready for EPSS file generation.
Make sure all Simulink signals in your model are defined in the processor model or via I/O

The Simscape Electrical model is ready for EPSS file generation

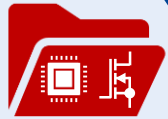
FPGA builds

Build name	Variant	Suitable for your model	Reason
DS2655_K7_410T_Var3.epssfpga	3	no	Current parameter configuration is not suitable.
DS6601_KU_035_Var12.epssfpga	12	yes	---
DS6601_KU_035_Var8.epssfpga	8	yes	---
DS6602_KU_15P_Var11.epssfpga	11	no	Current parameter configuration is not suitable.
DS6602_KU_15P_Var9.epssfpga	9	no	Current parameter configuration is not suitable.

To get more information about the properties of the installed FPGA builds use button 'Show Details of FPGA Builds' in the ANALYZE_MODEL block.

Electrical Power Systems Simulation (EPSS) - souhrn

EPSS



Generický přístup pro topologicky orientované simulování výkonové elektroniky

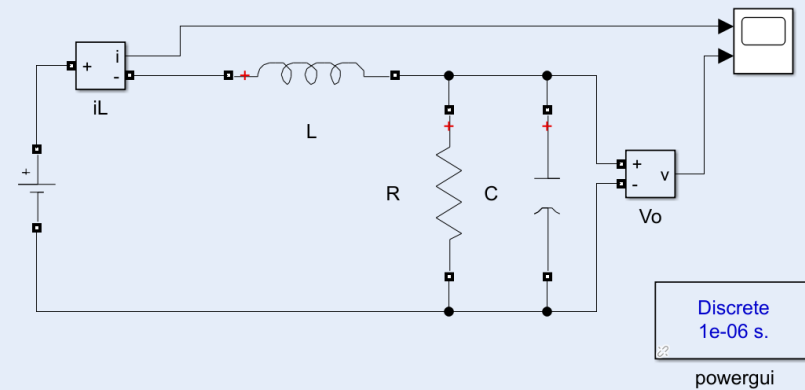
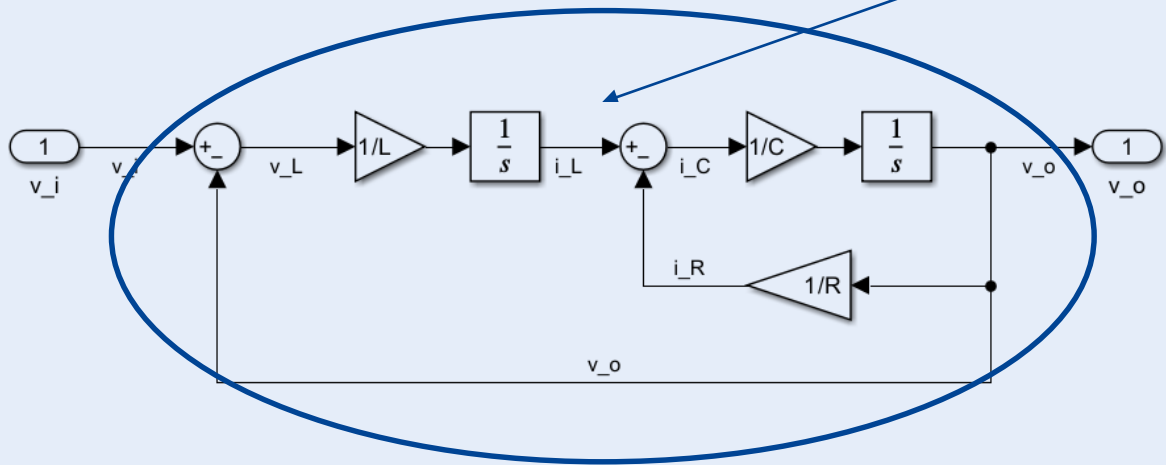
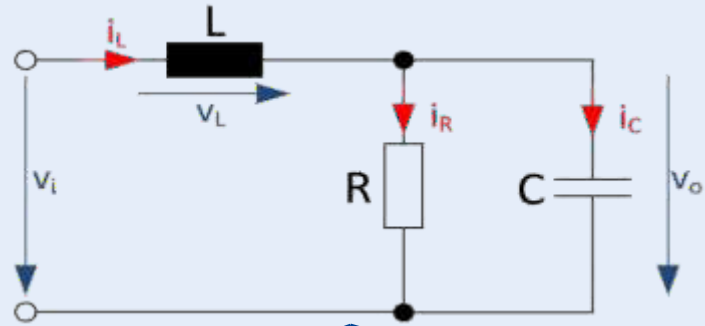


Vytváření aplikací pro FPGA bez nutnosti programování



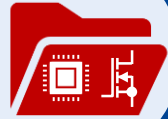
Spínací frekvence až 100 kHz

Modelování elektrických obvodů

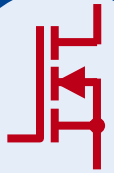


XSG - Power Electronics Systems (PES)

XSG PES



Knihovna s hotovými FPGA modely běžně používaných obvodů ve výkonové elektronice

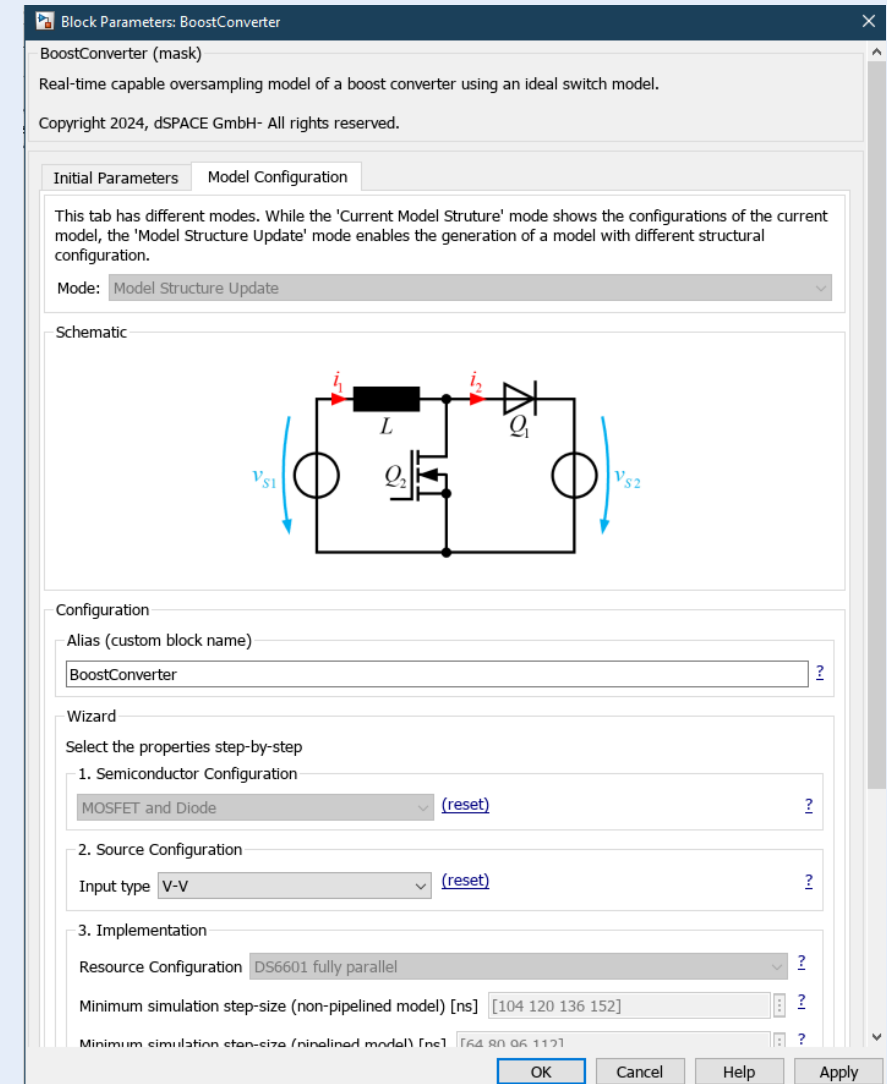
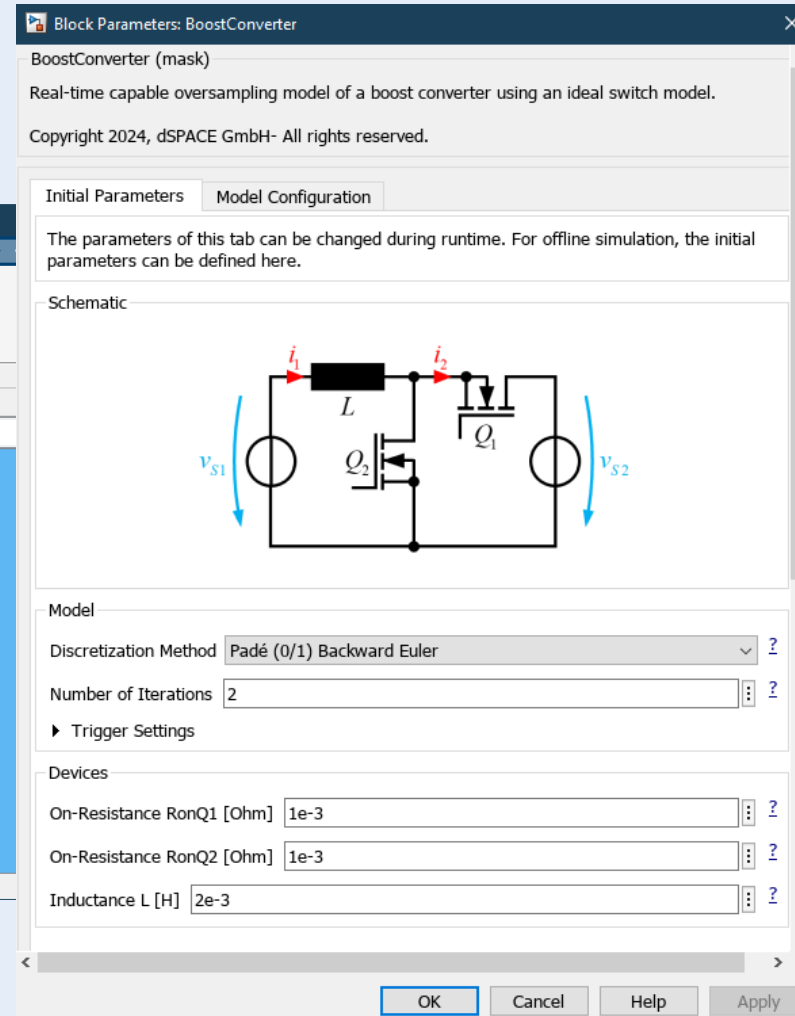
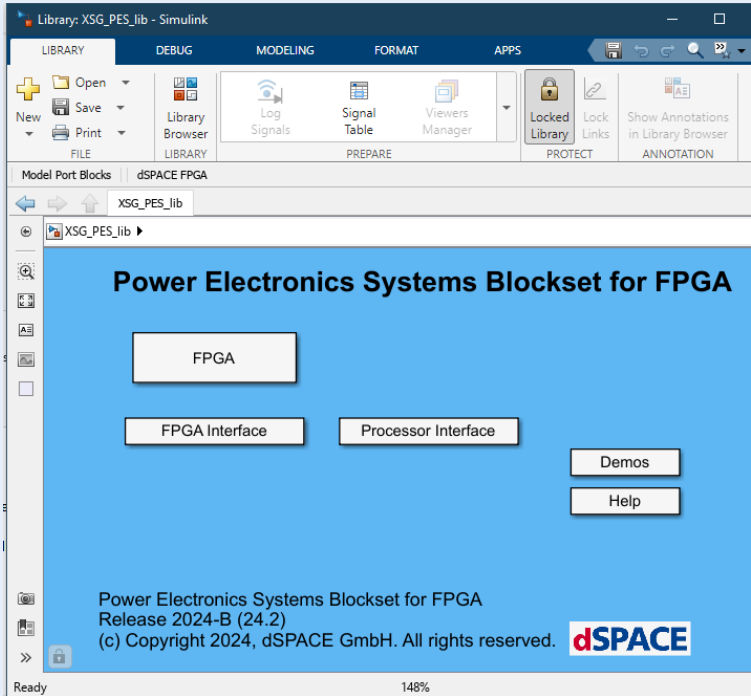


Simulace výkonových měničů s podporou SiC a GaN tranzistorů



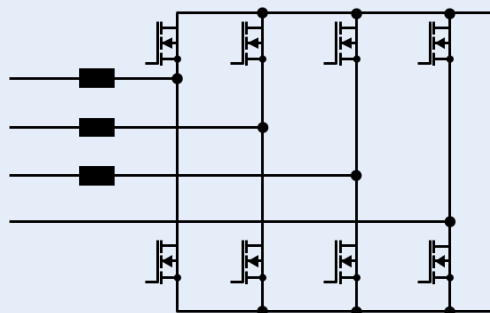
Bezpečné, rychlé a opakovatelné fail-safe rutiny

XSG PES GUI



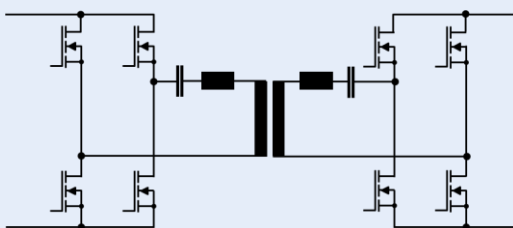
Hotové FPGA modely

Hotové topologie



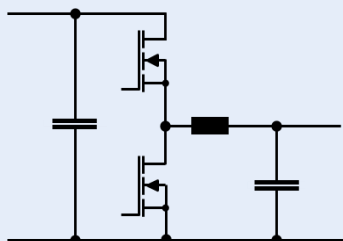
Totem Pole PFC
V různých konfiguracích

Až 150 kHz



CLLC resonanční měnič

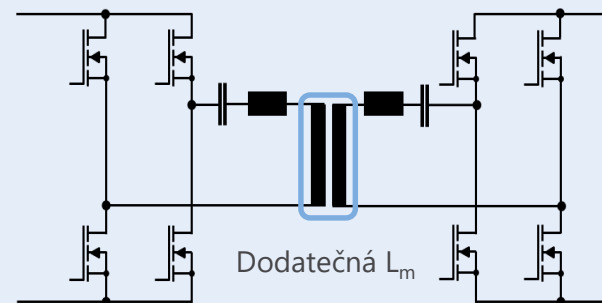
Až 500 kHz



Obousměrný DC/DC měniče
(včetně. Buck & Boost)

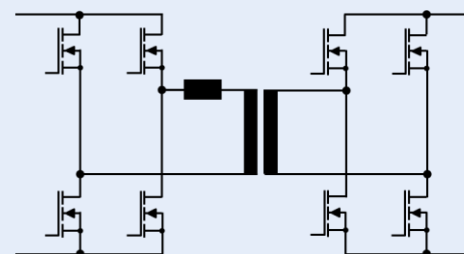
Až 500 kHz

Plánované topologie

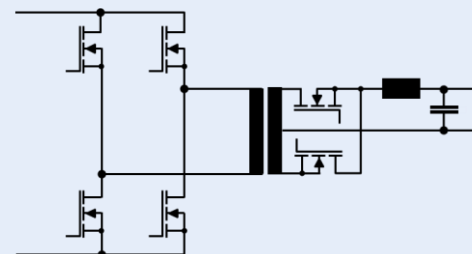


CLLLC resonanční měnič

Dodatečná L_m



Dual Active Bridge



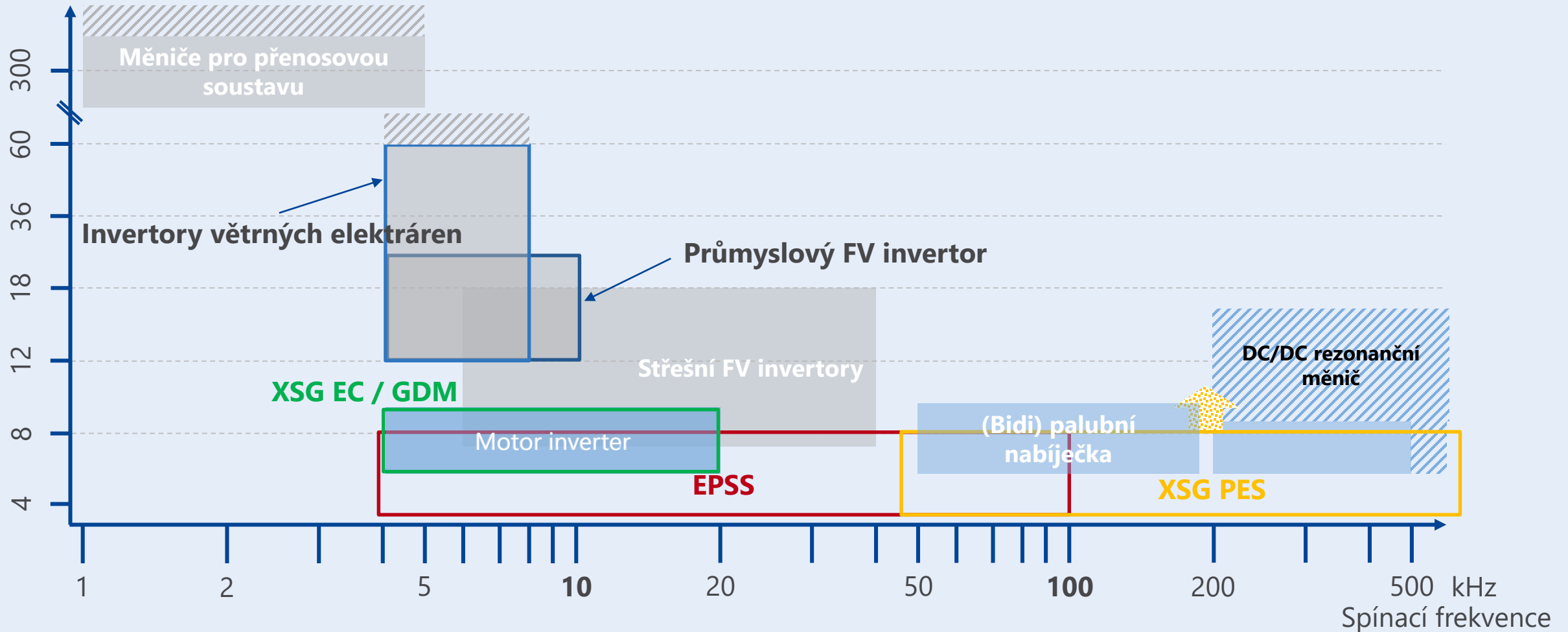
Phase-shifted full bridge

Spínací frekvence měničů a inverterů

Energetika

Automotive

Počet spínačů



Portfolio pro simulování výkonové elektroniky

Engi-
neer-
ing

Engineering

- Individuální návrh modelu
- Model → Fixní model dle zadání zákazníka
- Využití procesoru a/nebo FPGA

XSG
PES

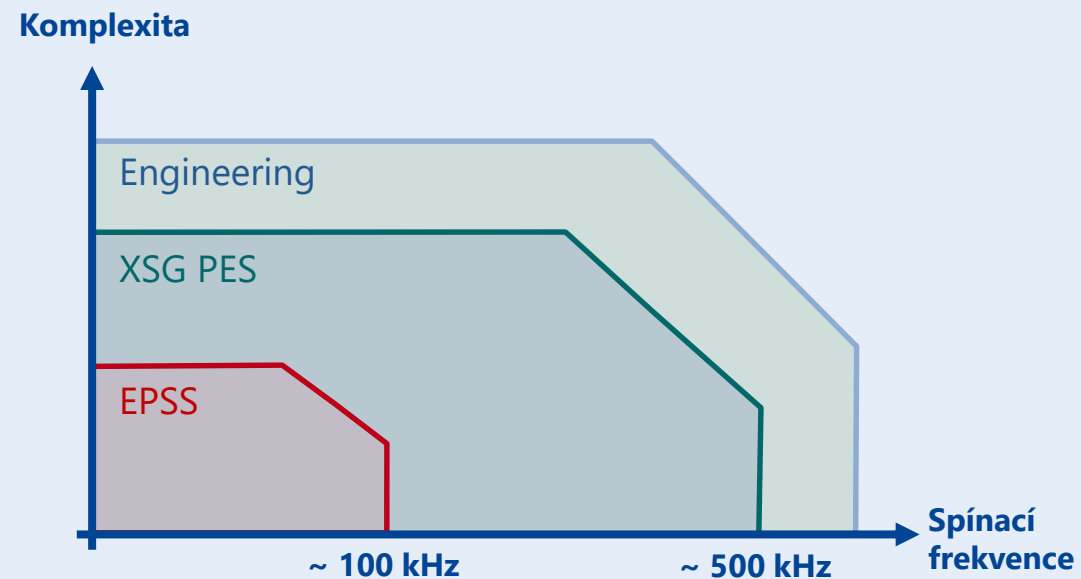
Power Electronics Systems

- Matematický přístup
- Knihovna → připravené modely
- Užití FPGA

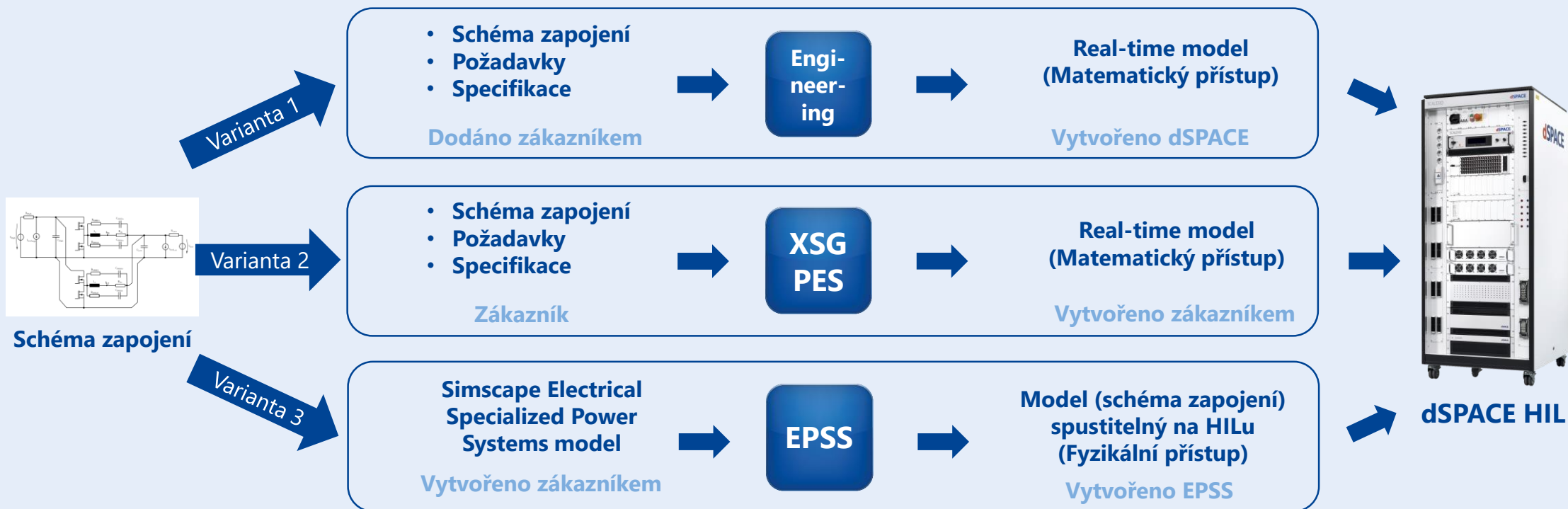
EPSS

Electrical Power Systems Simulation

- Topologicky orientovaný přístup
- Solver → umožní spouštět stávající modely v real-time
- Využití procesoru a/nebo FPGA



Souhrn

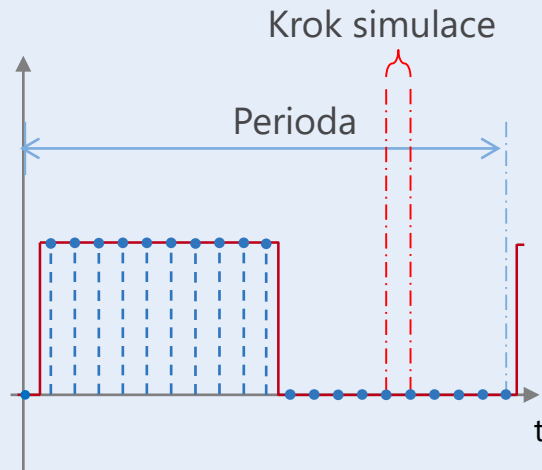




Děkuji za pozornost!

Jeden krok simulace

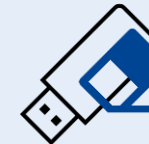
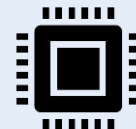
Pravidlo:
20 simulačních kroků / perioda



$$\dot{x} = A_i x + B_i u$$
$$y = C_i x + D_i u$$



Spínací frekvence: 500 kHz
Perioda: 2 μ s
Krok simulace: 100 ns



Načíst vstupní signály

Detekce stavu spínačů

Načtení příslušné stavové rovnice z paměti

Výpočet elektrických hodnot

Nastavení fyzických výstupů dle spočtených hodnot

Vymazání cach (vstupy a výpočty)

Krok simulace (100 ns)



Děkuji za pozornost!