

Cv.9: Fyzikálne modelovanie systémov v Simscape

1. Simscape: úvod, základné pojmy, knižnice prvkov
2. Simulácia elektrického obvodu v Simscape
3. Simulácia mechanického translačného systému v Simscape

1. Simscape: úvod, základné pojmy, knižnice prvkov

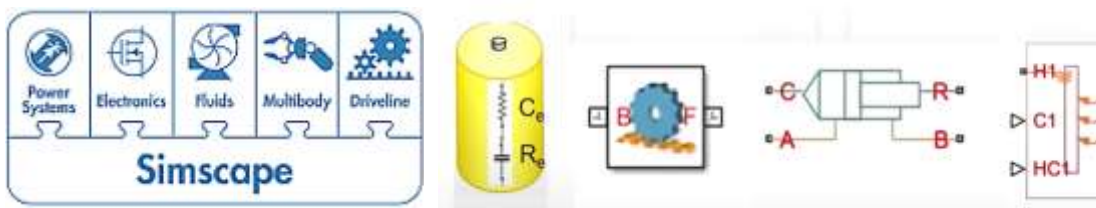
1. Úvod do Simscape všeobecne a do Simscape Electrical

<https://www.mathworks.com/products/simscape-electrical.html>

Watch video

Vlastnosti Simscape

- Ide o tzv. fyzikálne modelovanie
- Rozširuje knižnicu Simulinku pre modelovanie fyz. systémov rôznej podstaty
- Obsahuje modely základných prvkov rôznych fyzikálnych domén:



Odštartovanie:

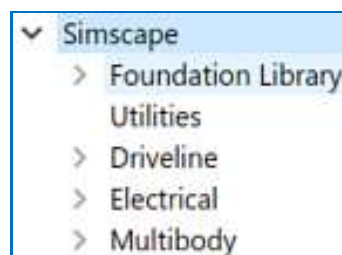
>> **slLibraryBrowser**

alebo použijeme ikonu

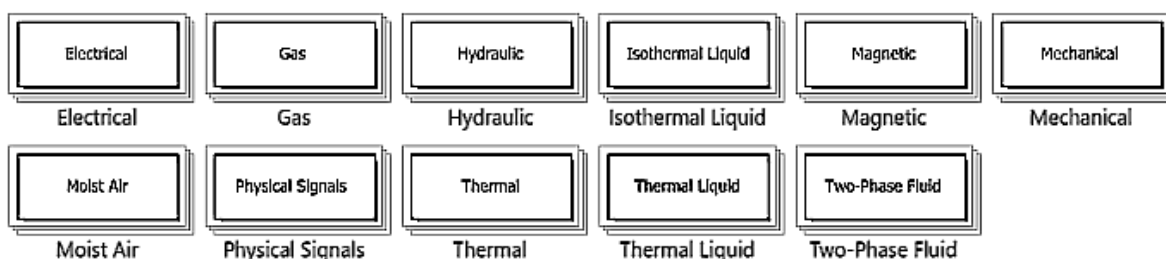
(tlačidlo) v Simulinku:



V knižnici nájdeme:



Foundation Library

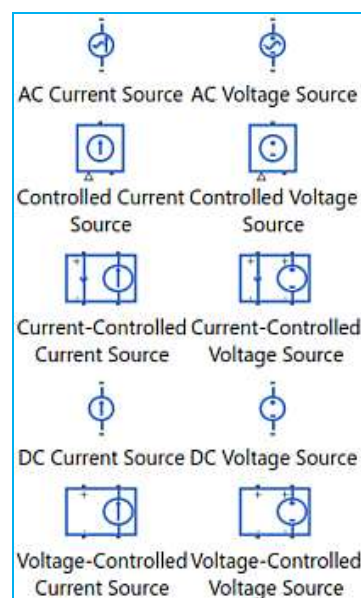
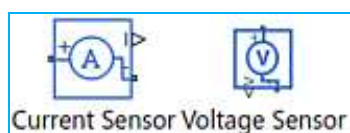
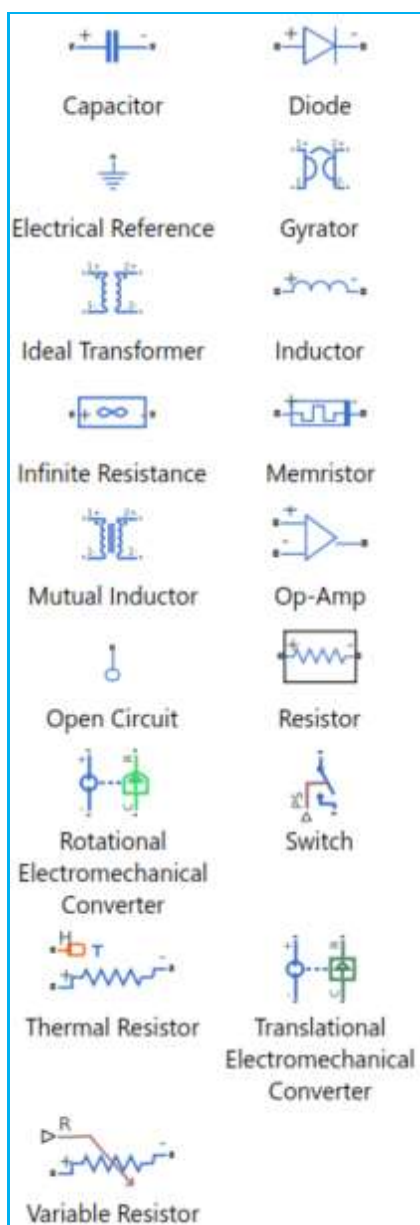
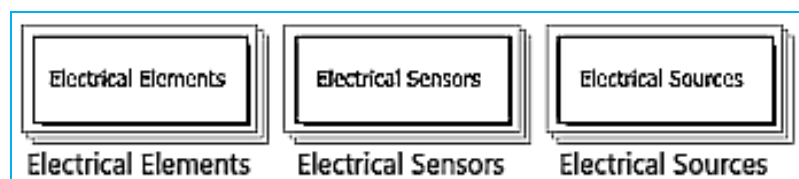


Inou možnosťou je zadať: >> **Simscape**

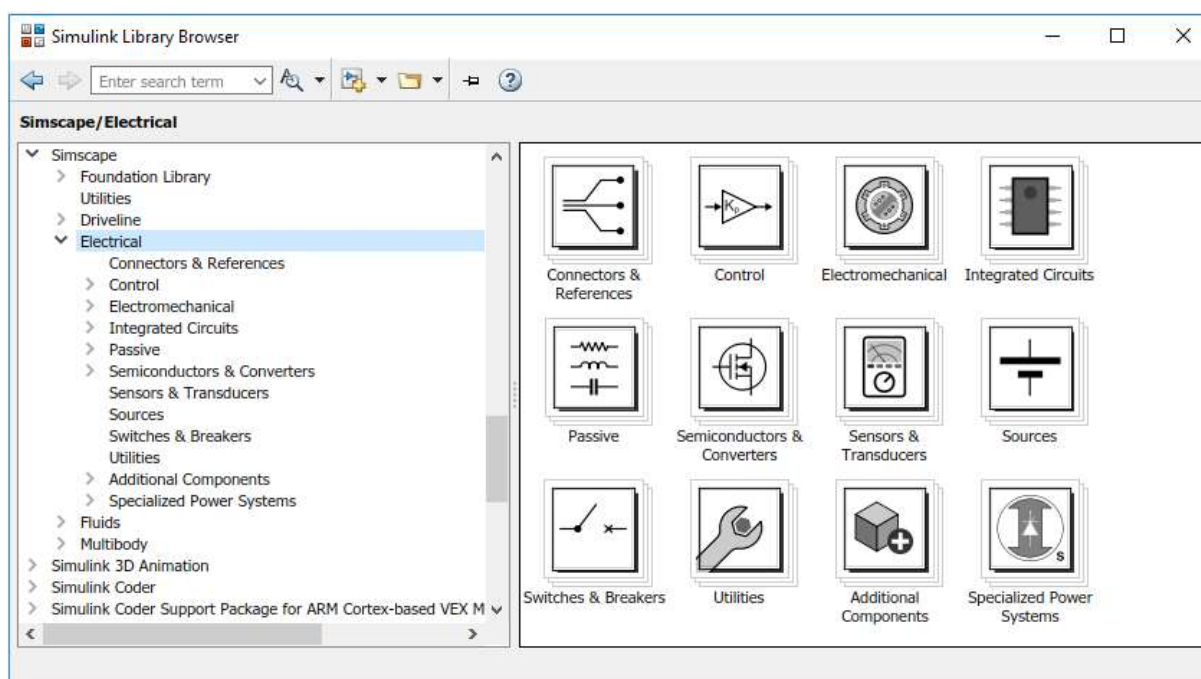
Otvoríme nasledovnú knižnicu blokov:



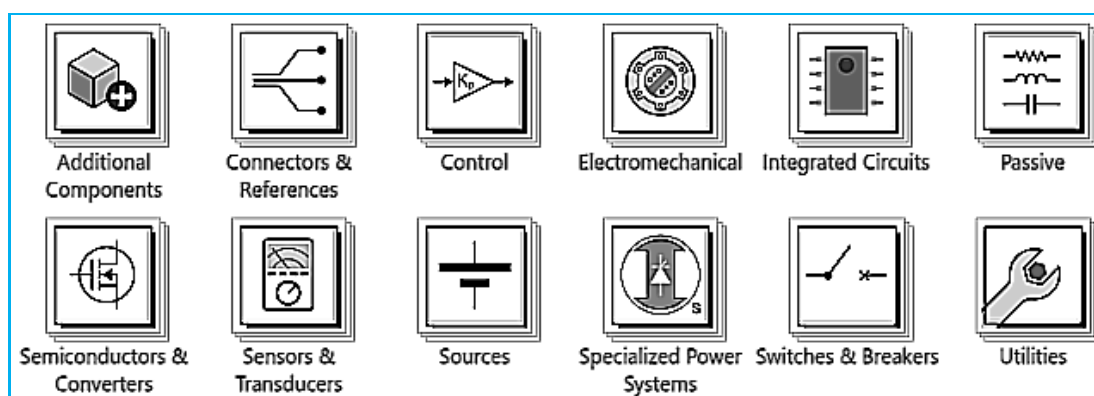
Simscape Electrical



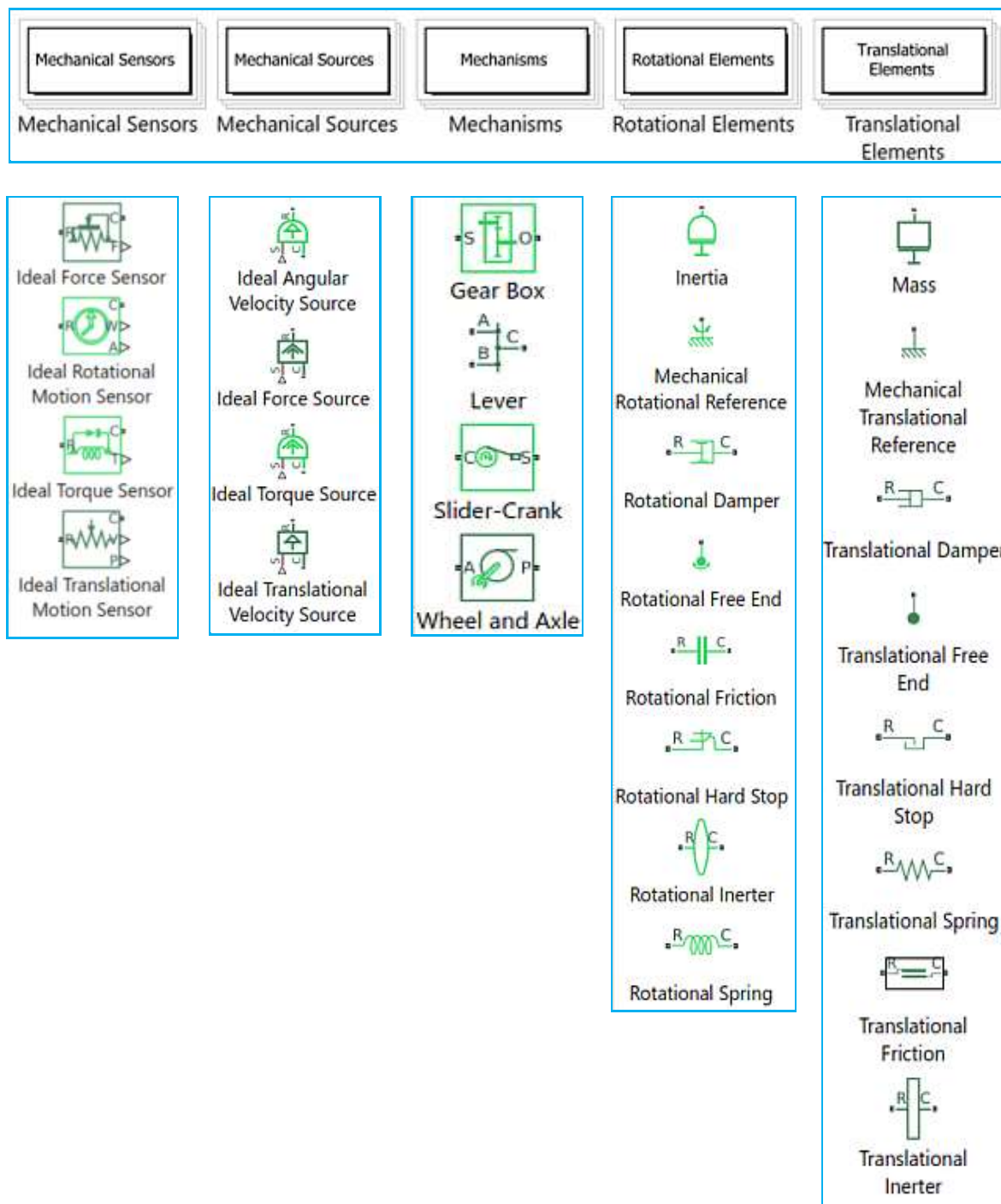
Simscape Electrical - [Simscape Electrical Block Libraries](#)



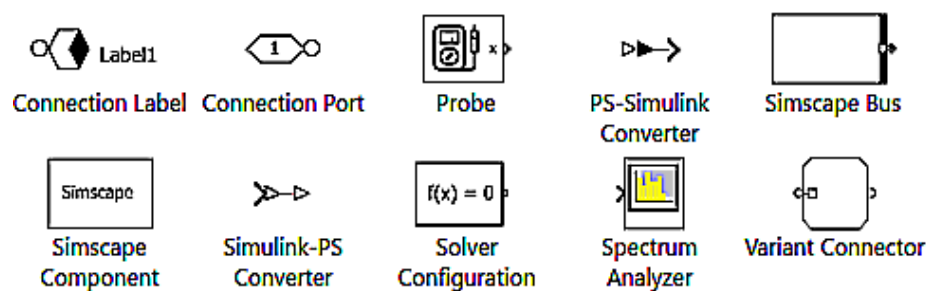
<https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/ug/simscape-electrical-block-libraries.html>



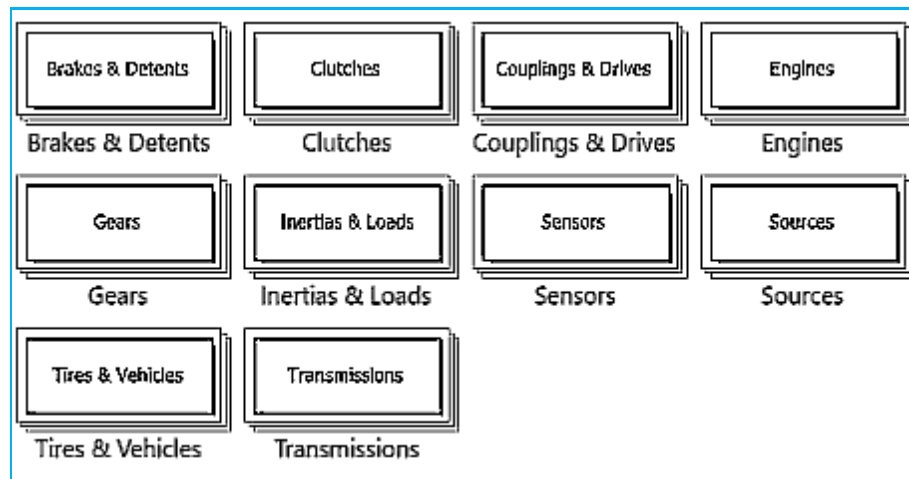
Simscape Mechanical



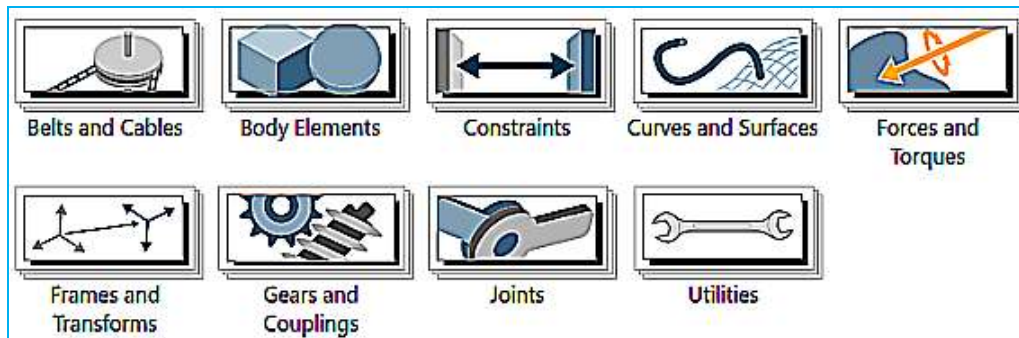
Utilities



Simscape Driveline



Simscape Multibody



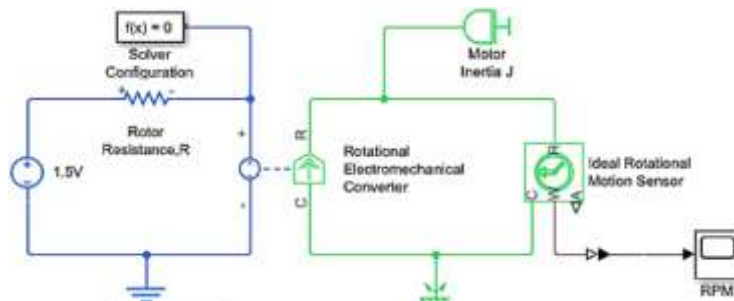
2. Pravidlá pri fyzikálnom modelovaní vo viacerých doménach

- Každá doména vyžaduje najmenej jeden referenčný blok¹, t.j. v prípade kombinácie elektrického a mechanického systému musí byť príslušný referenčný bod pripojený pre každý podsystém: mechanický translačný, rotačný a elektrický.
- V obvode je povolených viac pripojení k referencii domény.

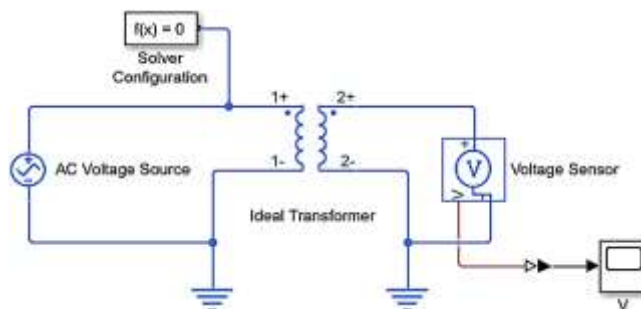
Príklady pripojenia referenčných bodov

Vo fyzikálnej schéme v Simscape musí byť ku každému obvodu pripojený odpovedajúci referenčný bod.

Napr. pre elektrický obvod a mechanický rotačný je to:



V prípade galvanicky oddelených obvodov pomocou transformátora musí byť elektrický referenčný bod pripojený ako ku primárnej strane transformátora, tak aj ku sekundárnej strane.



¹ Modeling Best Practices

<https://nl.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/modeling-best-practices.html#brlki8u>

3. Simulácia elektrického obvodu v Simscape

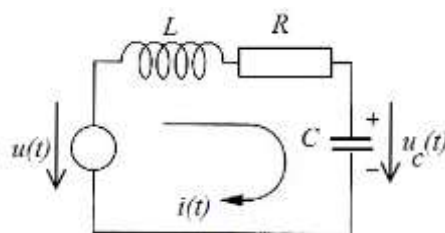
Postup pri zostavení modelu el. obvodu v Simscape:

- 1) V MATLABE zadať: >> **simscape**
tým dostaneme základnú knižnicu Simscape:



- 2) Zvolíme **New model** (plochu, kam budeme ťahať bloky z knižnice)
- 3) Z Foundation library ťaháme bloky:
 - z **Electrical Elements** – prvky **R, L, C**. Prepojíme ich podľa schémy obvodu
 - z **Electrical Sensors** – snímače prúdu a napätia
(**Curent Sensor, Voltage Sensor**)
- 4) Z knižnice **Utilities** ťaháme“
 - PS – Simulink Converter** - to je prevodník z výstupu zo Simscape (zo snímačov) do Simulinku (napr. blok Scope, príp. To Workspace)
 - Simulink – PS Converter** – prevodník na vstupe – napr. zo Simulinkového bloku Step (kde v našom prípade zadávame vstupné napätie) do schémy v Simscape
 - Solver Configuration** – blok pre riešenie diferenciálnych rovníc v Simscape. Jednoducho ho pripojíme ku hociktorému spoju v obvode
- 5) Doplníme schému zdrojom signálu (**Step**)
a výstupmi (**Scope, To Workspace**)
- 6) Nastavíme parametre prvkov obvodu
- 7) Spustíme riešenie ako v Simulinku a spracujeme výsledky
(napr. prechodovú charakteristiku) v MATLABe, príp. vhodne nastavíme výstupy v bloku Scope-

Príklad: Sériový RLC obvod **RLC_PS.slx**



Matematický model:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + Cq = U$$

$$q(t) = \int_0^t i(\tau) d\tau$$

Schéma v Simulinku:

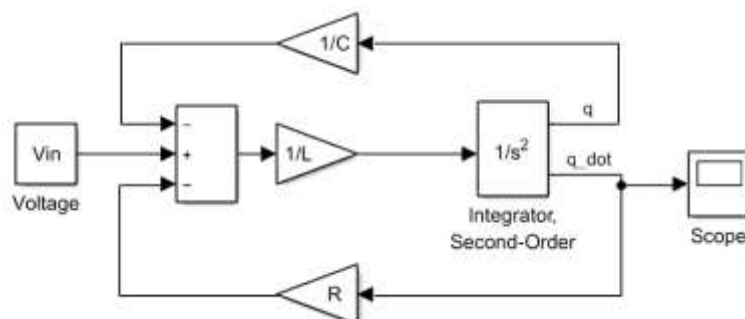
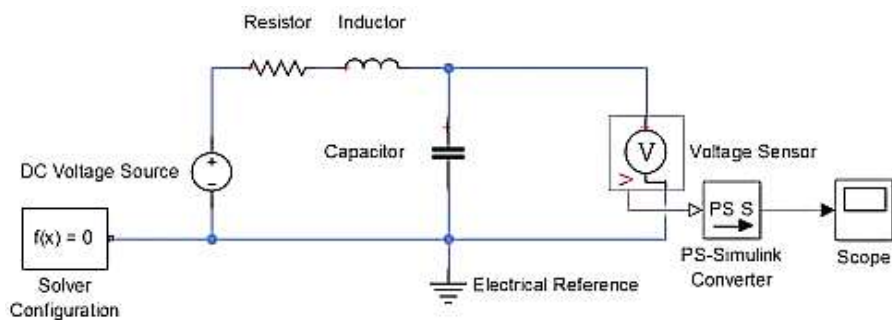
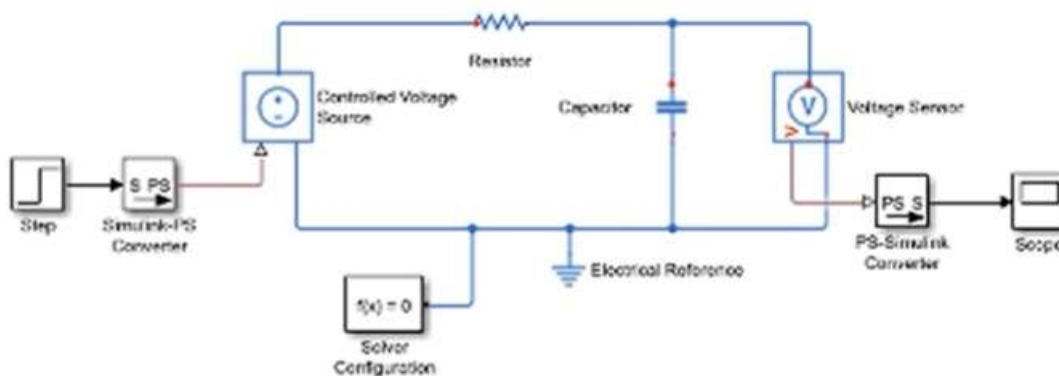


Schéma v Simscape



Pripojenie externého zdroja napätia



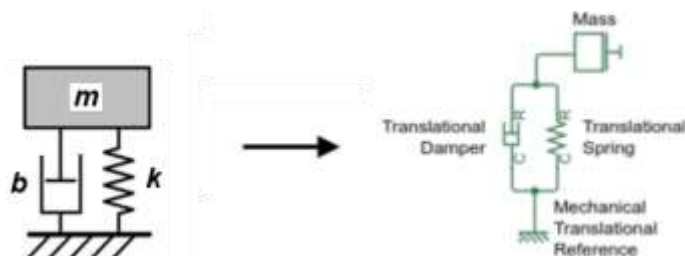
4. Simulácia mechanického translačného systému v Simscape

Příklad 1: Jednohmotnostný systém

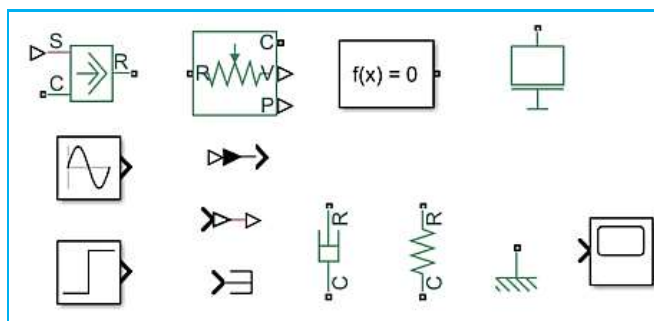
V MATLABe:

- help simscape
- Simscape Documentaion
- Get Started with Simscape
- Essential Steps for Constructing a Physical Model

Ctrl + L – otvorí knižnicu blokov danej kategórie

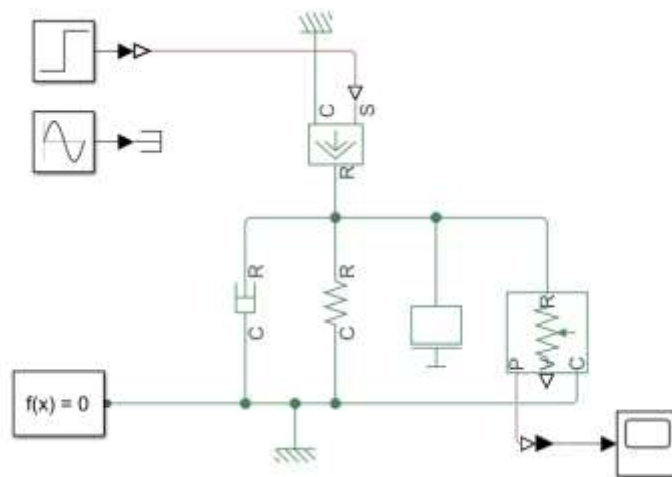


1) Vytvorenie modelu – potrebné bloky:

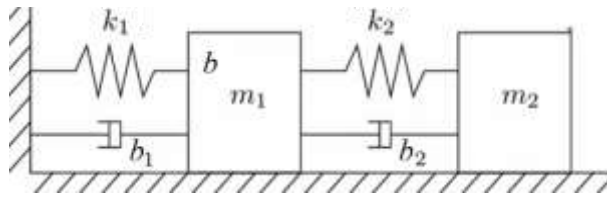


Výsledná schéma v Simscape ([m1b1k1_PS.slx](#))

(vyskúšať odozvu na step a sinus)



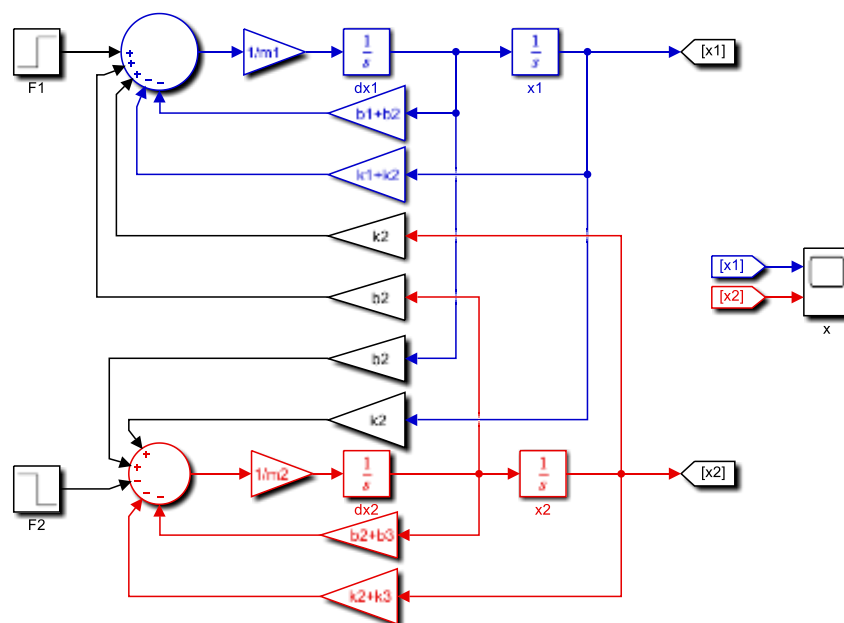
Príklad 2: dvojhmotnostný translačný systém



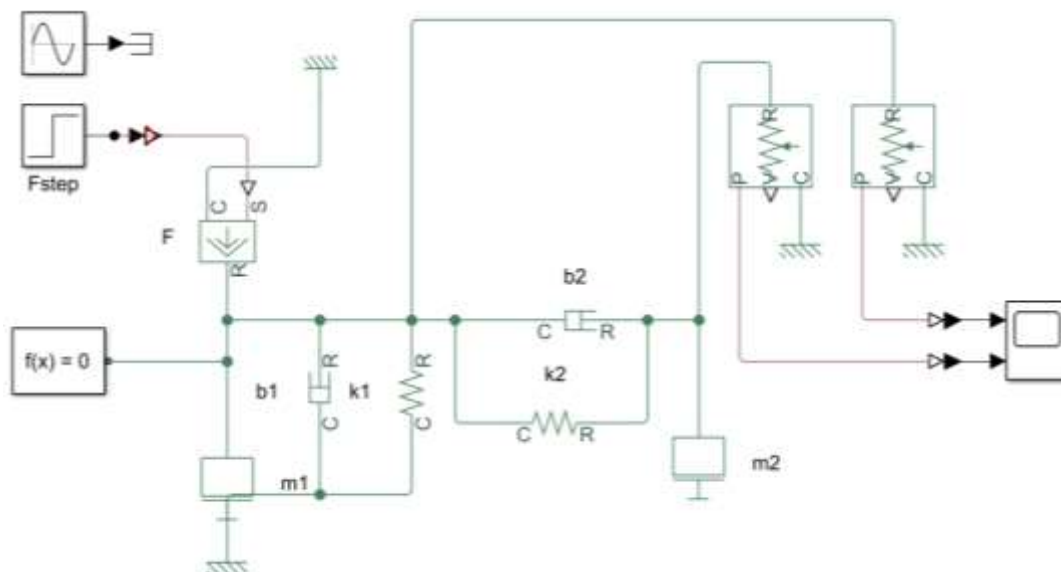
$$m_1 \ddot{x}_1 = k_2(x_2 - x_1) + d_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - k_1 x_1 - d_1 \dot{x}_1$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = F - k_2(x_2 - x_1) - d_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$$

Model v Simulinku



Model v Simscape



4 Simulácia mechanického rotačného systému v Simscape

Príklad

Namodelovať mechanický rotačný systém obsahujúci zdroj momentu, prevodovku ($j = 2$), moment zotrvačnosti a rotačný tlmič. Meraťte vstupnú a výstupnú rýchlosť.

Základné usporiadanie zotrvačníka s tlmením (trenie v ložiskách):

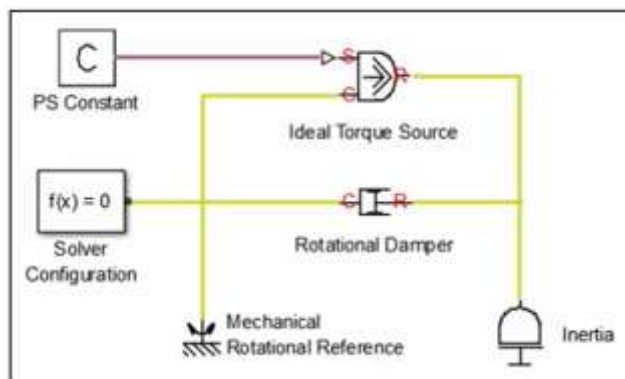
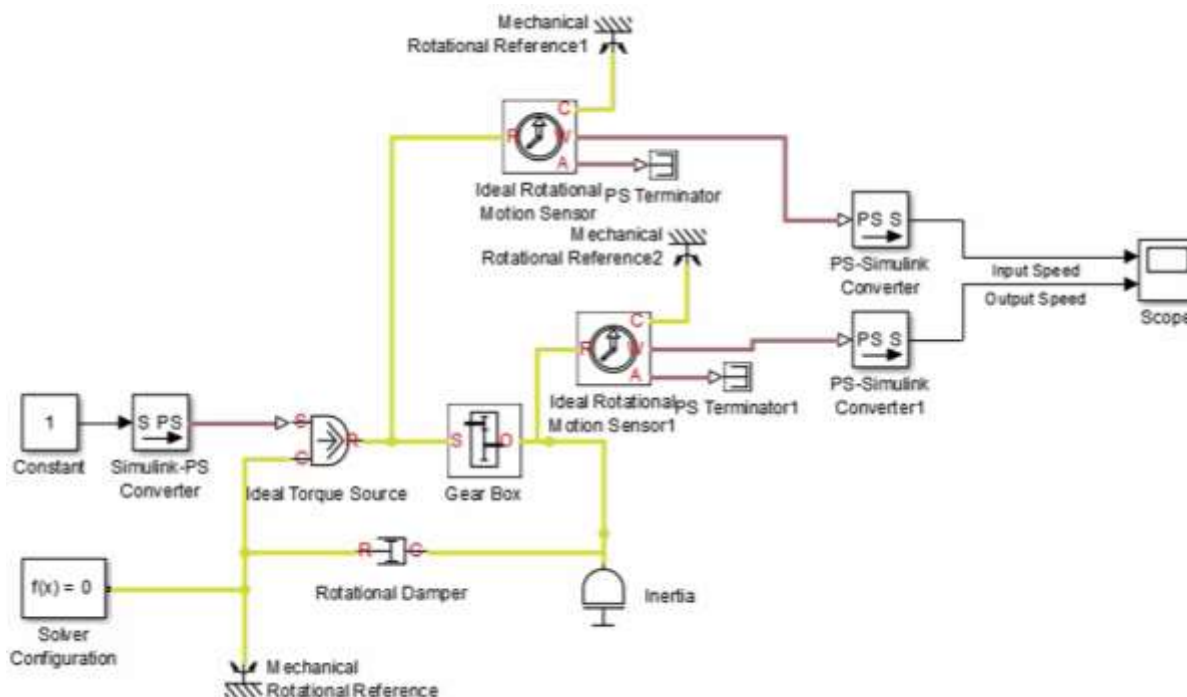


Schéma v Simscape



<https://nl.mathworks.com/videos/student-competition-physical-modeling-training-part-2-simscape-fundamentals-107484.html>

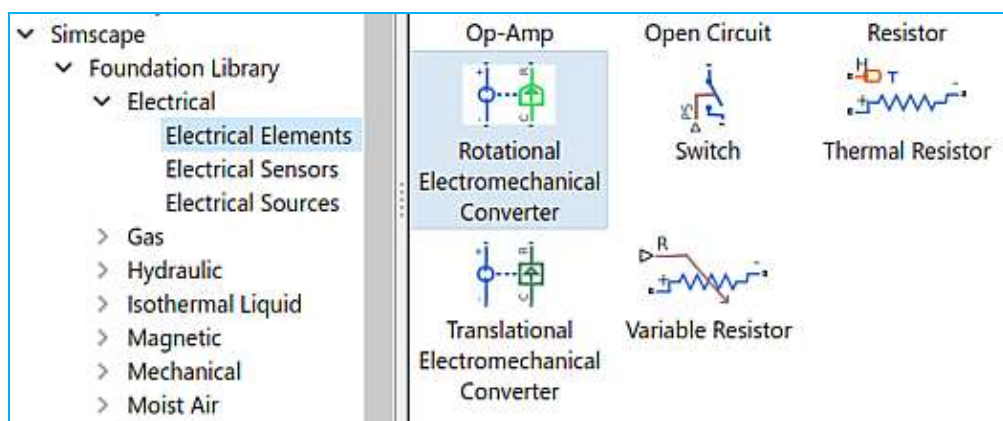
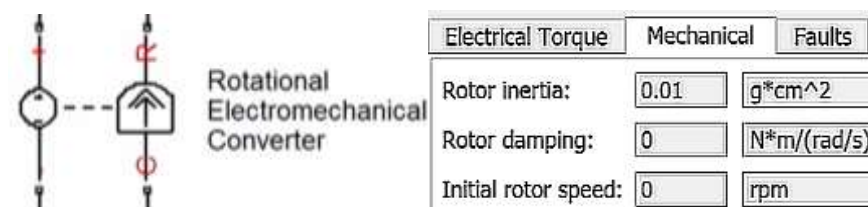
5 Simulácia elektromechanického systému v Simscape

Príklad. Miesto zdroja momentu doplniť jednosmerný motor do predchádzajúcej schémy s prevodovkou ($j = 2$), s momentom zotrvačnosti a s rotačným tlmivcom.

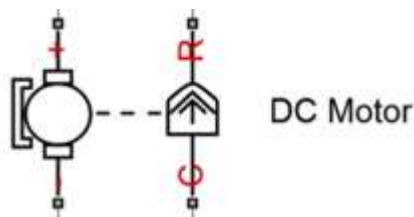
Vloženie elektro-mechanického meniča (prevodníka). Existujú dva typy elektromechanických meničov:

- 1) Ideálny bezstratový elektromechanický menič
- 2) Elektrický motor (stratový menič)

1) Ideálny bezstratový elektromechanický menič



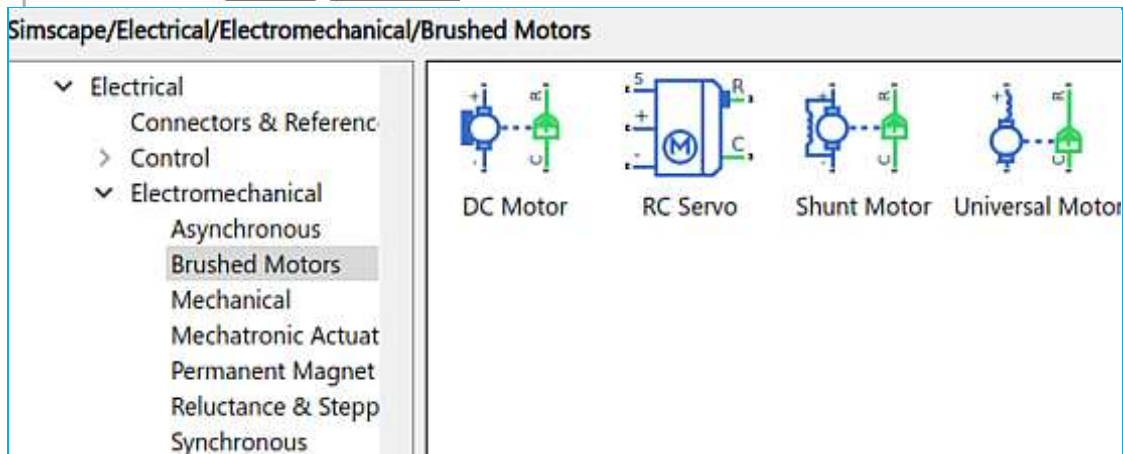
2) Elektrický motor (menič so stratami)



Nastavenie parametrov (zvoliť sústavu SI)

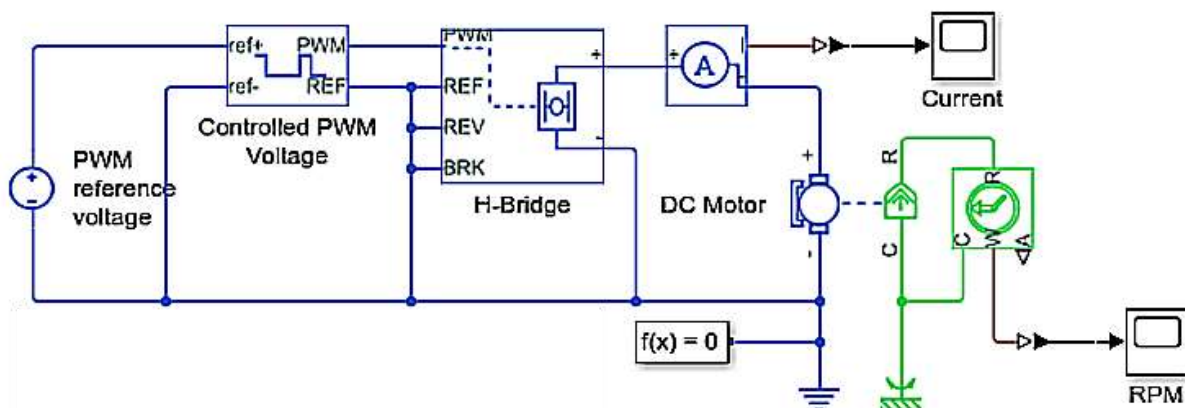
Electrical Torque	Mechanical	Faults
Rotor inertia:	0.01	$\text{g} \cdot \text{cm}^2$
Rotor damping:	0	$\text{N} \cdot \text{m} / (\text{rad/s})$
Initial rotor speed:	0	rpm

Settings	
Electrical Torque	Mechanical
Field type:	Permanent magnet
Model parameterization:	By equivalent circuit parameters
Armature resistance:	3.9 Ohm
Armature inductance:	12e-6 H
Define back-emf or torque constant:	Specify back-emf constant
Back-emf constant:	0.072e-3 V/rpm
Rotor damping parameterization:	By damping value



6 Simulácia systému výkonový polovodičový menič s PWM moduláciou – motor

Príklad: schéma jednosmerného motora napájaného z meniča s PWM moduláciou



7 Simulácia mechanických systémov v Simscape Multibody

Simscape™ Multibody™ poskytuje prostredie pre simuláciu viacerých telies 3D mechanických systémov, ako sú napr. roboty.

Vlastnosti prostredia:

- Simscape Multibody formuluje a rieši pohybové rovnice pre celý mechanický systém, takže nie je potrebné zostavovať matematický model
- Umožňuje modelovať viachmotnostné systémy viazaných navzájom pomocou blokov predstavujúcich telá, kĺby, obmedzenia, výkonové prvky a snímače.
- Do modelu možno importovať kompletne CAD zostavy vrátane všetkých hmotností, zotrvačných hmotností, spojov, obmedzení a 3D geometrie.
- Umožňuje automaticky generovať 3D animácie pre vizualizáciu dynamických pochodov.
- Ďalej možno do modelu integrovať hydraulické, elektrické, pneumatické a ďalšie fyzikálne systémy pomocou komponentov z prvkov Simscape.

Vyhľadanie vlastností blokov

>> doc

Zvoliť postupne: – Simscape Multibody
– Get Started with Simscape Multibody

alebo do zadať názov skupiny (napr. Belts and Cables)

príp. priamo názov bloku

Príklady na modelovanie v Simscape Multibody:,,

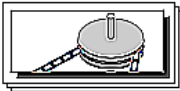
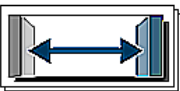
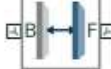
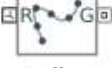
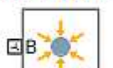
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sm/examples.html?s_cid=doc_ftr&category=index&s_tid=CRUX_lftnav_example_index

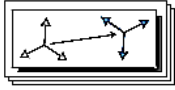
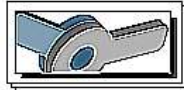
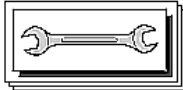
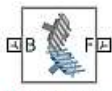
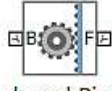
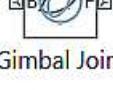
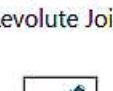
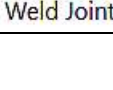
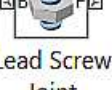
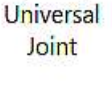
Stručný popis skupín blokov v prostredí Simscape Multibody



Belts and Cables	Časti podsystemu lano – kladka; navíjačka
Body Elements	Rôzne druhy telies, zadávajú sa geometrické rozmery, hustota a pod.
Constraints	Obmedzenia pohybu telesa: obmedzenie vzdialenosti, uhla a pohyb po krivke
Curves and Surfaces	Zadefinovanie splajnovej krivky
Forces and Torques	Externá sila a moment, gravitačné pole, sila v pružine a tlmiči
Frames and Transforms	Súradnicové systémy a ich transformácia
Gears and Couplings	Rôzne typy prevodoviek
Joints	Bloky typu Joints sú tvorené jedným alebo zlúčením viacerých tzv. primitív (Joint Primitives), ktoré potom tvoria stupne voľnosti. Kĺby spájajú bloky typu body a pridávajú im stupne voľnosti, tiež určujú smer a druh pohybu. Joints majú v bloku porty označené ako B-Base a F-Follower. Znamená to, že follower vykonáva pohyb vzhľadom k Base. Druhy primitív: • Prismatic- jeden translačný stupeň voľnosti • Revolute- jeden rotačný stupeň voľnosti • Spherical- tri stupne voľnosti okolo stredného bodu • Weld-zvar, bez stupňa voľnosti
Utilities	Blok Machine Environment

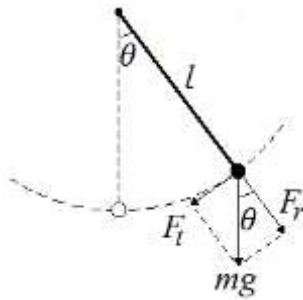
Prehľad blokov Simscape Multibody

 Belts and Cables	 Body Elements	 Constraints	 Curves and Surfaces	 Forces and Torques
 Belt-Cable End  Belt-Cable Spool  Belt-Cable Properties  Pulley	 Flexible Bodies  Variable Mass  Brick Solid  Cylindrical Solid  Ellipsoidal Solid  Extruded Solid  File Solid  Graphic  Inertia  Inertia Sensor  Revolved Solid  Spherical Solid  Variable Mass  General Variable Mass  Variable Brick Solid  Variable Cylindrical Solid  Variable Spherical Solid	 Angle Constraint  Distance Constraint  Point on Curve Constraint	 Infinite Plane  Point  Spline	 External Force and Torque  Gravitational Field  Internal Force  Inverse Square Law Force  Spatial Contact Force  Spring and Damper Force

 Frames and Transforms	 Gears and Couplings	 Joints	 Utilities
 Reference Frame  Rigid Transform  Transform Sensor  World Frame	 Bevel Gear Constraint  Common Gear Constraint  Rack and Pinion Constraint  Worm and Gear Constraint	 6-DOF Joint  Bushing Joint  Constant Velocity Joint  Gimbal Joint  Pin Slot Joint  Prismatic Joint  Revolute Joint  Telescoping Joint  Weld Joint  Bearing Joint  Cartesian Joint  Cylindrical Joint  Lead Screw Joint  Planar Joint  Rectangular Joint  Spherical Joint  Universal Joint	 Mechanism Configuration

Príklad: simulácia pohybu jednoduchého kyvadla v Simscape Multibody

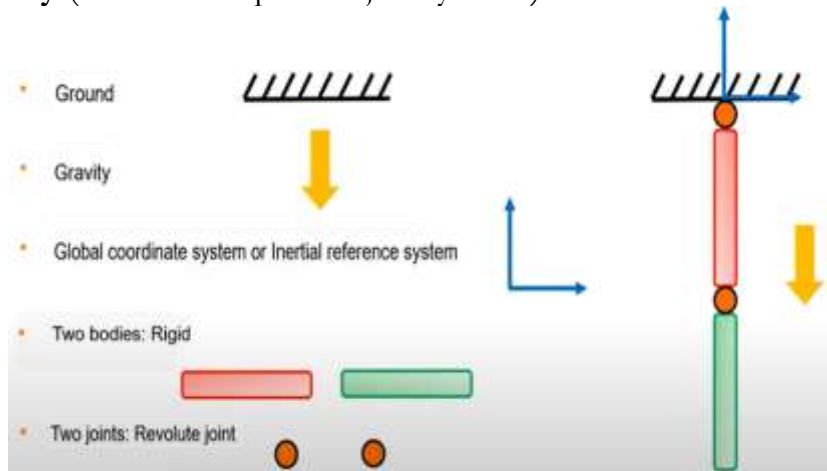
Kinematická schéma



Matematický model

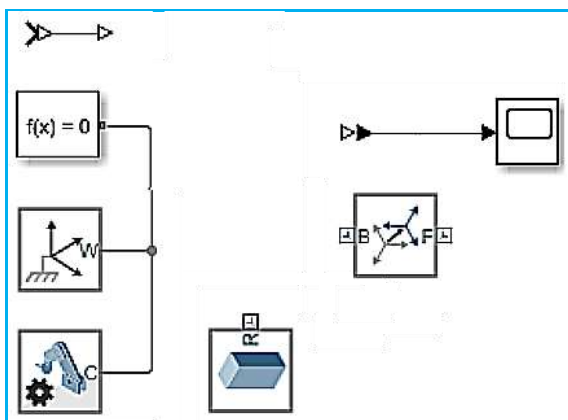
$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{b}{m} \frac{d\theta}{dt} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

Potrebné bloky (znázornené pre dvojité kyvadlo)



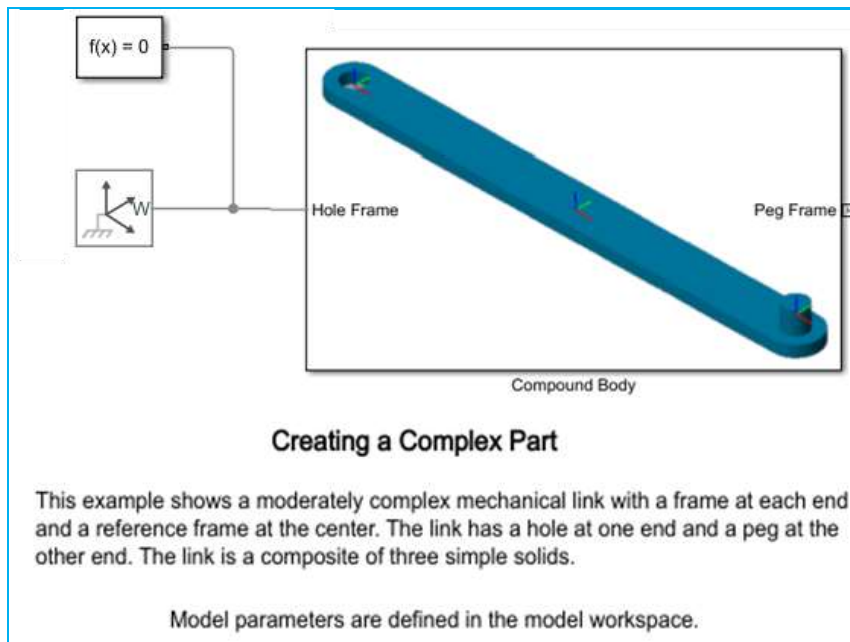
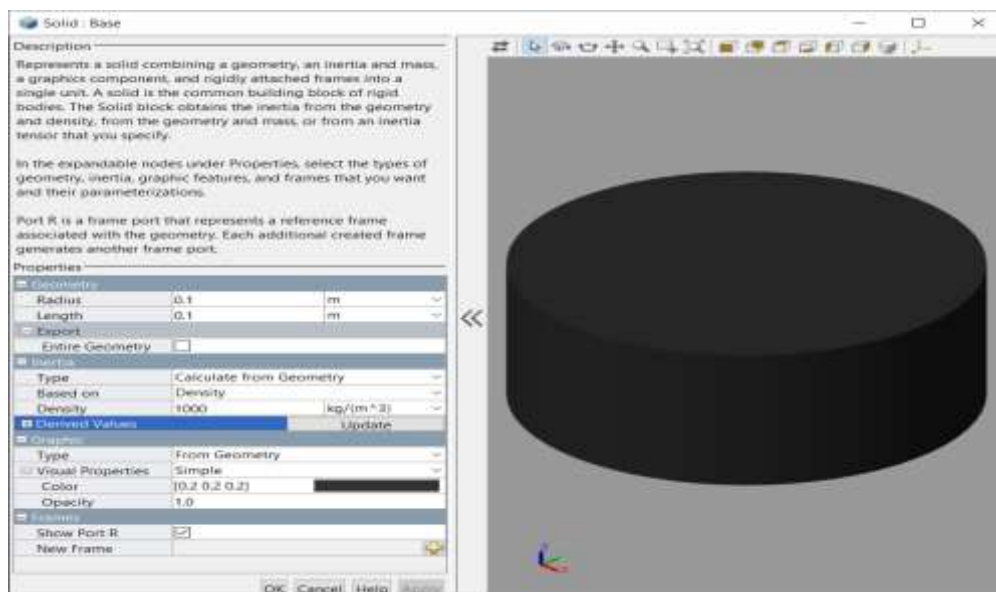
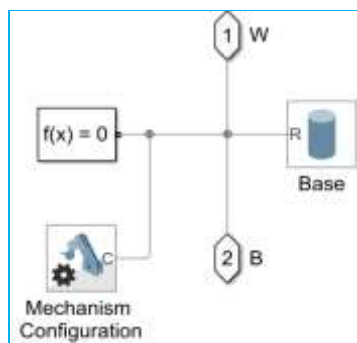
Odštartovanie Simscape Multibody

>> **smnew**



Funkcia `smnew` otvára šablónu modelu Simscape Multibody. Šablóna obsahuje niekoľko bežne používaných blokov a automatický výber riešiča s variabilným krokom pre čo najvhodnejšie riešenie modelu:

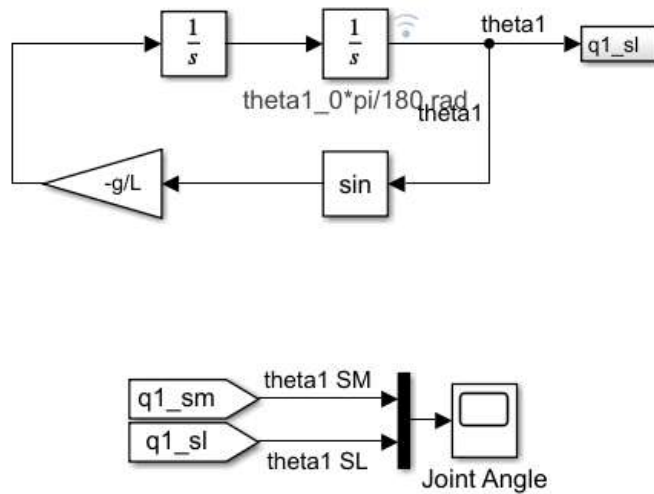
- Simulink-PS Converter
- Solver configuration
- World frame
- Mechanism configuration
- Brick Solid
- Rigid transform
- PS-Simulink Converter
- Scope

>> **sm_compound_body****Creating a Simple Part****Creating a Complex Part****Otočný čap (Pivot)**

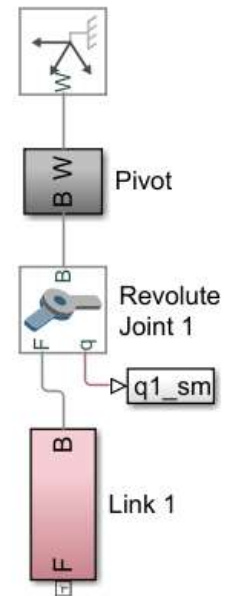
>> **sm_single_pendulum_sl**

Parametre: $l = 1$ m, $m_1 = 0,5$ kg, $b = 0,1$ Ns/m

Simulink Model



Simscape Multibody Model



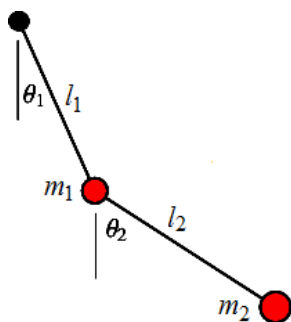
Ďalšie informácie – vid' MATLAB help:

Príklad: Simulácia pohybu dvojitého kyvadla v Simscape Multibody (Single Pendulum in Simulink and Simscape Multibody)

Model a Simple Pendulum

[Tutorial Overview](#)
[Build Model](#)
[Specify Gravity](#)
[Set Pendulum Starting Position](#)
[Configure Solver](#)
[Assemble Model](#)
[Simulate Model](#)
[Save Model](#)

Kinematická schéma:



Matematický model: (aj s tlmičmi b_1, b_2 v kĺboch)

$$\ddot{\phi}_1 = -\frac{1}{(m_1 + m_2) \cdot l_1^2} [m_2 l_1 l_2 \ddot{\phi}_2 + b_1 \dot{\phi}_1 + (m_1 + m_2) g l_1 \phi_1]$$

$$\ddot{\phi}_2 = -\frac{1}{m_2 l_2^2} [m_2 l_1 l_2 \ddot{\phi}_1 + b_2 \dot{\phi}_2 + m_2 g \phi_2]$$

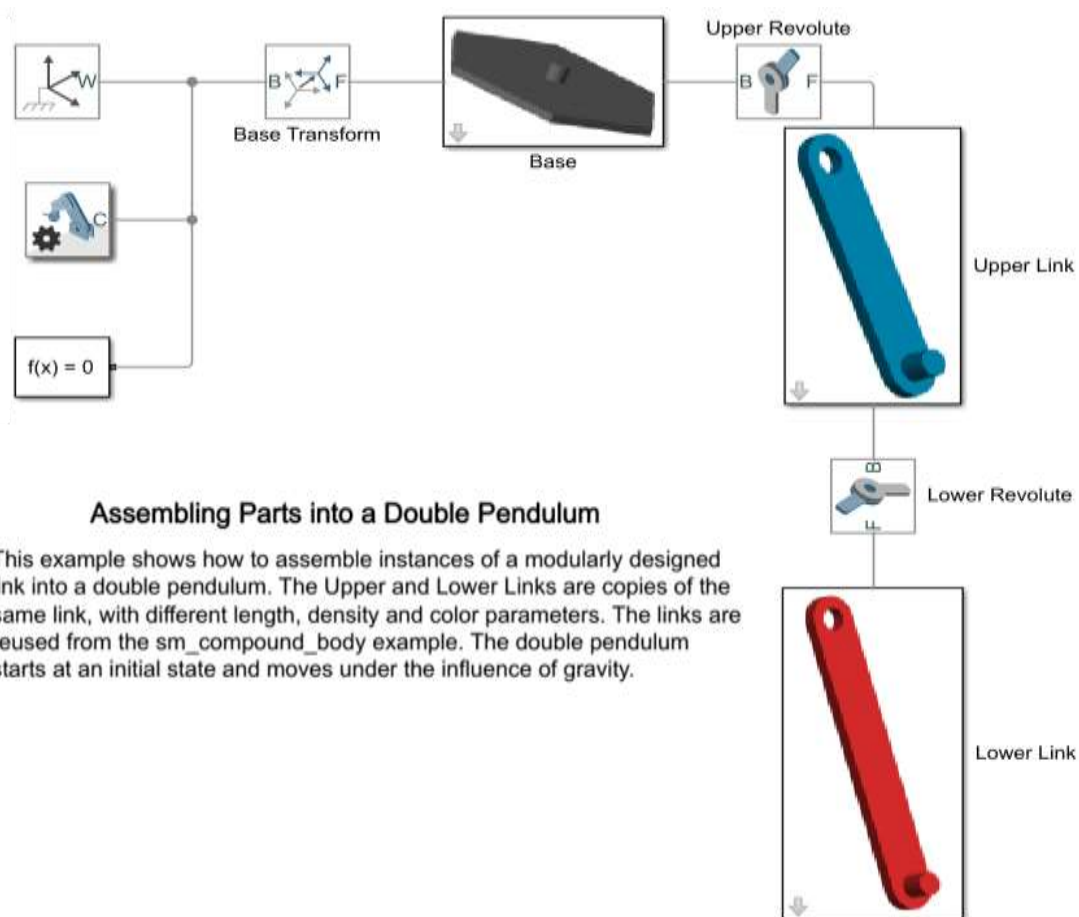
Assembling Parts into a Double Pendulum

[Open Model](#)

(Assembly)

Príklad zobrazuje zostavenie častí modulárne navrhnutého modelu dvojitého kyvadla. Upper and Lower Links sú kópie toho istého článku s rôznymi parametrami dĺžky, hustoty a farieb.

Dvojité kyvadlo začína v počiatočnom stave (spôsobené výchylkou oboch uhlov) a pohybuje sa pod vplyvom gravitácie.



Animation and Solution of Double Pendulum Motion

[Open Live Script](#)

Step 1: [Define Displacement, Velocity, and Acceleration of Double Pendulum Masses](#)

Step 2: [Define Equations of Motion](#)

Step 3: [Evaluate Forces and Reduce System Equations](#)

Step 4: [Solve System Equations](#)

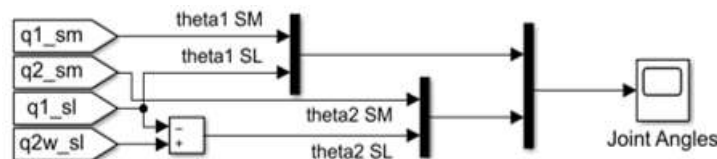
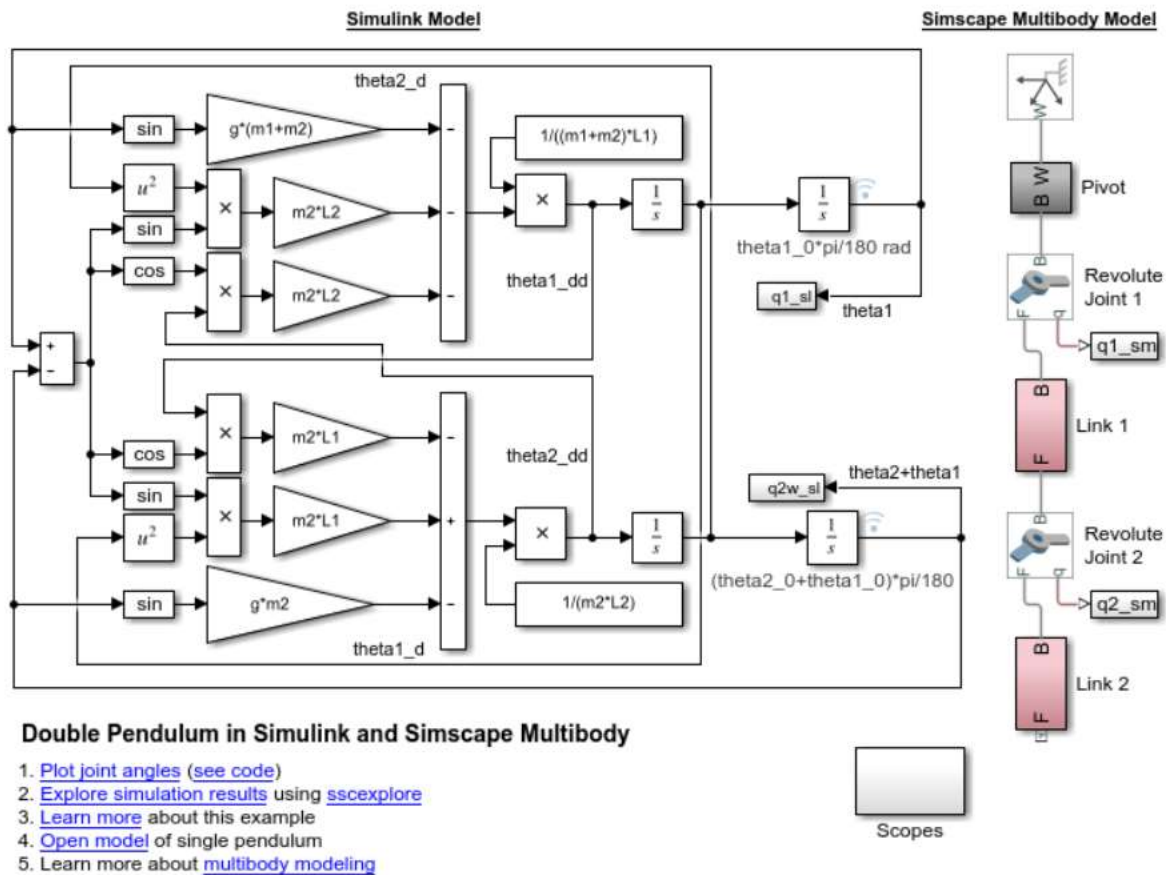
Step 5: [Create Animation of Oscillating Double Pendulum](#)

Double Pendulum in Simulink and Simscape Multibody

```
>> sm_double_pendulum_sl
```

Parametre:

$l_1 = 2 \text{ m}$, $l_2 = 1 \text{ m}$, $m_1 = 0,3 \text{ kg}$, $m_2 = 0,3 \text{ kg}$, $b_1 = 0,1 \text{ Ns/rad}$, $b_2 = 0,2 \text{ Ns/rad}$



Tutorial 01: Simscape Multibody Basics and Double Pendulum Modeling | LUT University

<https://www.youtube.com/watch?v=6pifanyE9f0>

Ďalšie príklady: (vyše 50 príkladov) – pozri: **Simscape Multibody — Examples**

5. Literatúra

- [1] MATLAB help center
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sm/examples.html?category=simulation-and-analysis&s_tid=CRUX_topnav
- [2] Physical Modeling Tutorial, Part 1: Introduction to Simscape
<https://www.youtube.com/watch?v=liIKcYxa00I>
- [3] Physical Modeling with Simscape
<https://www.youtube.com/watch?v=ERrf7qtV4e0>
- [4] Simscape – Examples
https://nl.mathworks.com/help/physmod/simscape/examples.html?s_tid=CRUX_lftnav_example_%5Bobject+Object%5D&category=index

- [5] Simscape Electrical
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sps/index.html?s_tid=CRUX_lftnav
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html?category=index&s_tid=CRUX_index
- [6] Simscape Electrical — Examples
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html?s_tid=CRUX_lftnav_example%5Bobject+Object%5D&category=index
- [7] Creating A New Circuit
<https://nl.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/creating-a-new-circuit.html>
- [8] RC Circuit in Simulink and Simscape
<https://nl.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/rc-circuit-in-simulink-and-simscape.html>
- [9] Cascaded RC Circuit in Simulink and Simscape
<https://nl.mathworks.com/help/physmod/simscape/ug/cascaded-rc-circuit-in-simulink-and-simscape.html>
- [10] Modelling Electrical Systems in MATLAB with SimScape
<https://www.youtube.com/watch?v=xbecP-txh44>
- [11] Simscape circuit simulation
<https://www.youtube.com/watch?v=KwqOtFJLBHg>
- [12] Simscape Electrical — Examples
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sps/examples.html?s_tid=CRUX_topnav
- [13] Modeling Mechanical Systems: The Double Pendulum
<https://blogs.mathworks.com/simulink/2009/02/26/modeling-mechanical-systems-the-double-pendulum/>
- [14] Double Pendulum in Simulink and Simscape Multibody
<https://nl.mathworks.com/help/physmod/sm/ug/double-pendulum-in-simulink-and-simscape-multibody.html;jsessionid=cdb9af419253fa27a55de49d1cc3>
- [15] Double Mass-Spring-Damper in Simulink and Simscape
[Double Mass-Spring-Damper in Simulink and Simscape](#)
- [16] Multibody modeling
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sm/examples.html?category=multibody-modeling&s_tid=CRUX_lftnav_example_simulation-and-analysis
- [17] PDF Documentation for Simscape Multibody
https://nl.mathworks.com/help/pdf_doc/physmod/sm/index.html
- [18] Simscape Multibody Belts and Pulleys Examples
<https://nl.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/66519-simscape-multibody-belts-and-pulleys-examples>
- [19] Simscape Multibody User's Guide
https://nl.mathworks.com/help/pdf_doc/physmod/sm/sm_ug.pdf

- [20] Multibody modeling
https://nl.mathworks.com/help/physmod/sm/examples.html?category=multibody-modeling&stid=CRUX_lftnav_example_simulation-and-analysis
- [21] Tutorial 01: Simscape Multibody Basics and Double Pendulum Modeling | LUT Uni | Finland
<https://www.youtube.com/watch?v=6pifanyE9f0>