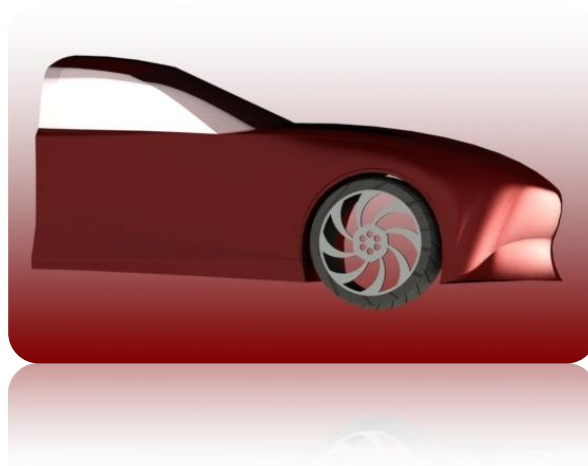


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

**Zostavenie systému tlmenia automobilu v prostredí
MATLAB/Simulink a SimMechanics
Tutoriál (Príloha D)**



Študijný program:	Inteligentné systémy
Študijný odbor:	Kybernetika
Školiace pracovisko:	Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Školiteľ:	doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.
Konzultant:	Ing. Matej Oravec

2016

Miroslav Murín

Úlohy

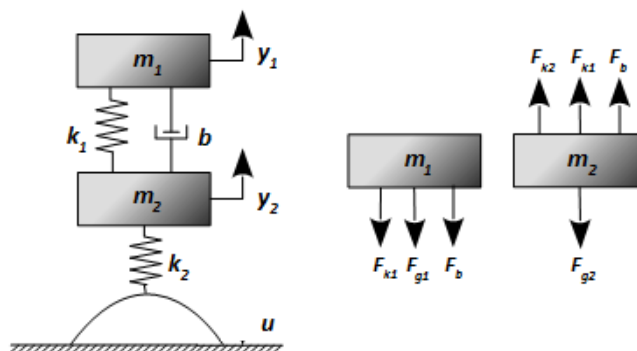
1. Zostaviť matematický model tlmenia automobilu
2. Vytvoriť simulačný model v prostredí MATLAB/Simulink a pomocou funkcií toolboxu SimMechanics. Porovnať postupy zostavenia modelov.
3. Simulovať odozvy systému na rôzne typové signály

1. Úvod a zostavenie matematického modelu

Systém zobrazený na obrázku nižšie predstavuje aproximáciu reálneho tlmenia kolies automobilu. Uvažovaný systém môžeme popísať pomocou troch základných elementov mechanických systémov, ktorými sú: hmotný bod, tlmič a pružina.

Sústava sa skladá z dvoch hmotných bodov pričom prvý (s hmotnosťou m_1), predstavuje štvrtinovú váhu automobilu a druhý (s hmotnosťou m_2), predstavuje hmotnosť kolesa a nápravy. Medzi jednotlivými hmotnými bodmi sa nachádza tlmič s koeficientom viskózneho tlmenia b a pružina s konštantou pružnosti k_1 . Tieto dva elementy spolu reprezentujú zjednodušený reálny systém pérovania kolies.

Konštanta k_2 odzrkadľuje tuhosť pružnosti samotnej pneumatiky, ktorá priamo súvisí so vstupom. Vstupom do systému je nerovnosť povrchu vozovky, tým pádom sa systém uvedie do pohybu vždy, keď automobil prejde nerovnosťou na vozovke.



Systém tlmenia automobilu a znázornenie pôsobenia síl na hmotné body

Parametre:

m_1	– štvrtinová hmotnosť automobilu	[kg]
m_2	– hmotnosť kolesa a nápravy	[kg]
k_i	– koeficient pružnosti i-tej pružiny $i = 1,2$	[Nm ⁻¹]
b	– koeficient viskózneho tlmenia	[Nms ⁻¹]
g	– gravitačné zrýchlenie	[ms ⁻²]

Fyzikálne veličiny:

$y_1(t), y_2(t)$	– polohy jednotlivých hm. bodov	[m]
$\dot{y}_1(t), \dot{y}_2(t)$	– rýchlosti jednotlivých hm. bodov	[ms ⁻¹]
$\ddot{y}_1(t), \ddot{y}_2(t)$	– zrýchlenia jednotlivých hm. bodov	[ms ⁻²]
$F_{k1}(t), F_{k2}(t)$	– sila prenášaná pružinami	[N]
$F_b(t)$	– sila prenášaná tmičom	[N]
F_{g1}, F_{g2}	– gravitačná sila pôsobiaca na telesá	[N]
$u(t)$	– vstupná nerovnosť vozovky	[m]

Tabuľka parametrov systému „tmič automobilu“

Pre pôsobiace sily na teleso platí:

$$\begin{aligned}
 F_{k1} &= k_1(y_1(t) - y_2(t)) \\
 F_{k2} &= k_2(u(t) - y_2(t)) \\
 F_{g1} &= m_1g \\
 F_{g2} &= m_2g \\
 F_b &= b(v_1(t) - v_2(t)) = b(\dot{y}_1(t) - \dot{y}_2(t))
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Postup pri modelovaní je nasledovný. Vychádzame z metódy uvoľňovania, ktorá je založená na základe platnosti druhého Newtonovho zákona. Platí teda rovnosť $ma = \sum_i F_i$. Rozpísaním tejto rovnosti na sústavu rovníc dostávame:

$$\begin{aligned}
 m_1 a &= \sum_i F_i \\
 m_2 a &= \sum_i F_i
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Sumy síl z uvedenej sústavy rovníc (2) rozpišeme na parciálne pôsobiace sily podľa obrázku v úvode a nahradíme priemerné zrýchlenie a , okamžitým vyjadreným ako druhá derivácia polohy v čase $\frac{d^2y}{dt^2}$.

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{y}_1(t) &= -F_b(t) - F_{k1}(t) - F_{g1} \\
 m_2 \ddot{y}_2(t) &= F_b(t) + F_{k1}(t) + F_{k2}(t) - F_{g2}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Po dosadení jednotlivých síl z rovníc (1) dostávame:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1(t) &= -b(\dot{y}_1(t) - \dot{y}_2(t)) - k_1(y_1(t) - y_2(t)) - m_1 g \\ m_2 \ddot{y}_2(t) &= b(\dot{y}_1(t) - \dot{y}_2(t)) + k_1(y_1(t) - y_2(t)) + k_2(u(t) - y_2(t)) - m_2 g \end{aligned} \quad (4)$$

Odvodenie matematického modelu mierne komplikuje prítomnosť gravitačnej sily. Následkom jej pôsobenia je posunutie systému do rovnovážneho stavu, ktorý budeme ďalej vyšetrovať. Pre výpočet rovnovážnych stavov sú derivácie polohy rovné nule, platí teda:

$$\begin{aligned} -k_1(y_{10} - y_{20}) - m_1 g &= 0 \\ k_1(y_{10} - y_{20}) + k_2(-y_{20}) - m_2 g &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Odkiaľ dostávame:

$$\begin{aligned} y_{10} &= -\frac{m_2 g}{k_2} - \frac{m_1 g(k_1 + k_2)}{k_1 k_2} \\ y_{20} &= -\frac{m_1 g}{k_2} - \frac{m_2 g}{k_2} \end{aligned} \quad (6)$$

Definujeme si súradnicový systém x_1 a x_2 vo vypočítanom rovnovážnom stave, ktorý vznikol pôsobením gravitačnej sily na hmotné body systému. Preto od pôvodného súradnicového systému odčítame známe hodnoty veľkosti stlačenia (y_{10} a y_{20}), kde potom definujeme nový súradnicový systém. Keďže gravitačná sila ma opačný smer pôsobenia, ako smer pohybu, telesá systému vďaka jej pôsobeniu prirodzene klesnú.

$$\begin{aligned} x_1 &= y_1 - y_{10} \Rightarrow y_1 = x_1 + y_{10} \\ x_2 &= y_2 - y_{20} \Rightarrow y_2 = x_2 + y_{20} \end{aligned} \quad (7)$$

Pre derivácie platí $\dot{y}_1 = \dot{x}_1$, $\ddot{y}_1 = \ddot{x}_1$, $\dot{y}_2 = \dot{x}_2$, $\ddot{y}_2 = \ddot{x}_2$. Dosadením vzťahov (7) do pohybových rovníc (4) a následnou úpravou dostávame:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1(t) &= -b(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) - k_1(x_1(t) - x_2(t)) + \overbrace{k_1 y_{20} - k_1 y_{10} - m_1 g}^{= 0} \\ m_2 \ddot{x}_2(t) &= b(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + k_1(x_1(t) - x_2(t)) + k_2(u(t) - x_2(t)) \\ &\quad + \underbrace{k_1 y_{10} - k_1 y_{20} - k_2 y_{20} - m_2 g}_{= 0} \end{aligned} \quad (8)$$

Po vykrátení hmotnosťami m_1 a m_2 , dostávame vyjadrenia pre zrýchlenie jednotlivých hmotných bodov, čím sme dospeli k výsledným pohybovým rovniciam nášho systému.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1(t) &= -\frac{b}{m_1}(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) - \frac{k_1}{m_1}(x_1(t) - x_2(t)) \\ \ddot{x}_2(t) &= \frac{b}{m_2}(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t)) + \frac{k_1}{m_2}(x_1(t) - x_2(t)) + \frac{k_2}{m_2}(u(t) - x_2(t)) \end{aligned} \quad (9)$$

Odvodený matematický model sústavy môžeme využiť na simulovanie jeho dynamických vlastností. Pohybové rovnice budeme v nasledujúcej kapitole implementovať do simulačného prostredia MATLAB/Simulink. Pre implementáciu ich prepíšeme do substitučného kanonického tvaru. Pre stavy systému zavedme substitúcie:

$$\begin{aligned}x_1 &= q_1 & x_2 &= q_3 \\ \dot{x}_1 &= q_2 & \dot{x}_2 &= q_4\end{aligned}\tag{10}$$







Pomocou tejto substitúcie môžeme prepísať dve rovnice druhého rádu na štyri rovnice prvého rádu.

$$\begin{aligned}x_1 &= q_1 \\ \dot{x}_1 &= \dot{q}_1 = q_2 \\ \ddot{x}_1 &= \dot{q}_2 = -\frac{b}{m_1}(q_2 - q_4) - \frac{k_1}{m_1}(q_1 - q_3) \\ x_2 &= q_3 \\ \dot{x}_2 &= \dot{q}_3 = q_4 \\ \ddot{x}_2 &= \dot{q}_4 = \frac{b}{m_2}(q_2 - q_4) + \frac{k_1}{m_2}(q_1 - q_3) + \frac{k_2}{m_2}(u - q_3)\end{aligned}\tag{11}$$

S takto definovaným systémom môžeme pristúpiť k zostaveniu simulačného modelu.

2. Implementácia matematického modelu tlmenia automobilu do prostredia MATLAB/Simulink

Zostavovať simulačný model budeme *na základe matematického modelu dynamického systému* (11) z predošlej kapitoly, pričom riešenie je založené na *postupnom znižovaní rádu derivácií*. Matematický model teda určuje charakter zapojenia jednotlivých blokov do schémy. Nasledujúca tabuľka sumarizuje všetky bloky použité pri implementácii systému do tohto prostredia.

<i>Blok Simulinku</i>	<i>Popis</i>	<i>Označenie bloku</i>
<i>Integrator</i>	Integrátor numericky integruje hodnoty vstupného signálu v závislosti na čase. Je nutný k riešeniu diferenciálnych rovníc, popisujúcich dynamické správanie systému.	 Integrator
<i>Sum</i>	Sumátor vykonáva sčítanie/odčítanie jeho vstupov. V našej implementácii ho použijeme pre zápis súčtu síl pôsobiacich na teleso a realizáciu rozdielu medzi stavmi.	 Sum
<i>Gain</i>	Gain násobí (zosilňuje) vstupnú hodnotu zadanú v parametri bloku, ktorá môže byť konštantou, alebo vektorom.	 Gain
<i>Mux</i>	Mux spája jednotlivé signály privedené na jeho vstup do jedného viacrozmerného signálu. V simulačnom modeli ho používame pre spojenie signálov rovnakej fyzikálnej podstaty (polohy, rýchlosti, atď).	 Mux
<i>In, Out</i>	In predstavuje vstup signálu do subsystemu. Out predstavuje výstup signálu zo subsystemu.	 In1 Out1
<i>Scope</i>	Scope graficky zaznamenáva privedený signál v čase. V simulačných modeloch často využívame jeho funkcionalitu ukladania hodnôt do definovanej premennej v pracovnom priestore MATLABu.	 Scope

Postup zostavenia simulačného modelu

✓ Vytvorenie nového modelu

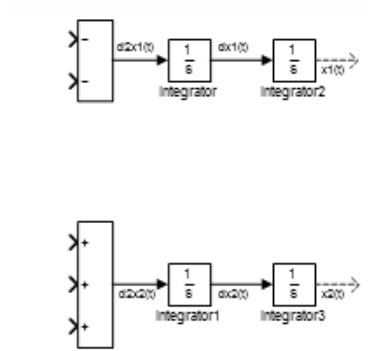
Otvoríme si novú schému Simulink a pridáme do nej 2 sumátory. Jednotlivé sumátory v našom modeli reprezentujú sumy síl pôsobiacich na hmotné body. Pri implementovaní sa teda riadime odvodenými rovnicami (11), pričom do parametra bloku sumátora zadávame znamienka jednotlivých síl z rovníc platných pre zrýchlenie telesa. Rozklikneme si sumátory a z možnosti „Icon shape“ si zvolíme „rectangular“. Pre prvý sumátor do atribútu „List of signs“ zadáme „--“ a pre druhý „+++“.



Výstupy blokov sumátora predstavujú zrýchlenia hmotných bodov. Je známe, že integrovaním zrýchlenia vypočítame rýchlosť hmotných bodov.

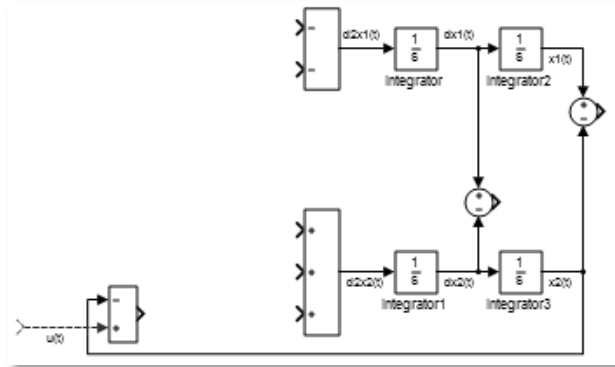
✓ Pridanie integrátorov do schémy a vytvorenie potrebných stavov

Z toho dôvodu je ďalším krokom pridanie *integrátorov* do schémy. Ich vstupmi sú zrýchlenia hm. bodov a výstupmi rýchlosti. Ďalším integrovaním signálov dostávame polohy v čase. Predpokladáme, že hmotné body sústavy sa nachádzajú v čase $t=0$ v rovnovážných stavoch, tým pádom počiatočné podmienky integrátorov sú rovné nule.



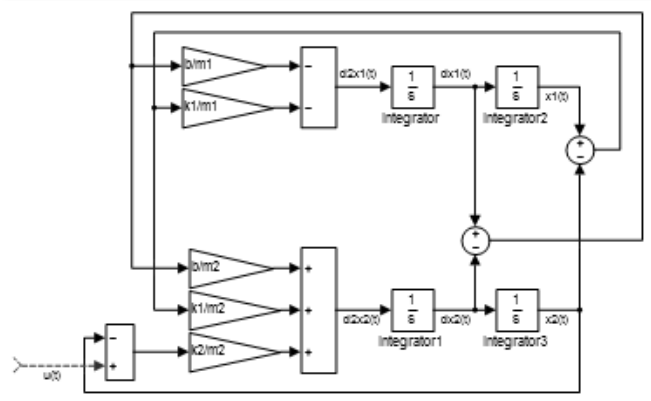
Po tomto kroku náš simulačný model obsahuje všetky stavy systému potrebné k implementácii.

Vytvoríme si rozdiely stavov, ktoré sú súčasťou niektorých pôsobiacich síl pohybových rovníc. Konkrétne je to rozdiel $(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_2(t))$ pre silu tlmenia, $(x_1(t) - x_2(t))$ pre silu prvej pružiny a $(u(t) - x_2(t))$ pre silu druhej pružiny. Pridáme si ďalšie tri sumátory z knižníc Simulinku, ktorým nastavíme parameter „List of sings“ na „+-“. Vstupy sumátorov spojíme so stavmi a vstupom systému v zmysle matematického modelu.



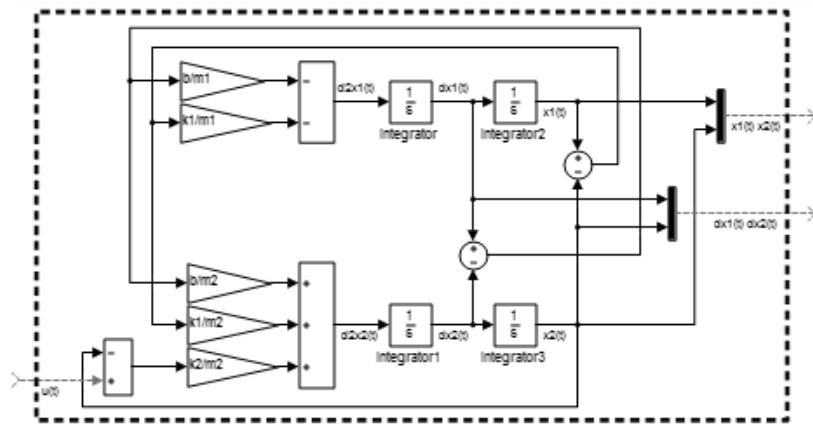
✓ Zosilnenie signálov v zmysle rovníc

Pre získanie jednotlivých síl musíme vytvoriť súčin signálov a rozdielov signálov s im prisluchajúcimi zosilneniami. Pridáme teda bloky *Gain* do simulačnej schémy a nastavíme ich parametre „Gain“ na príslušné hodnoty.

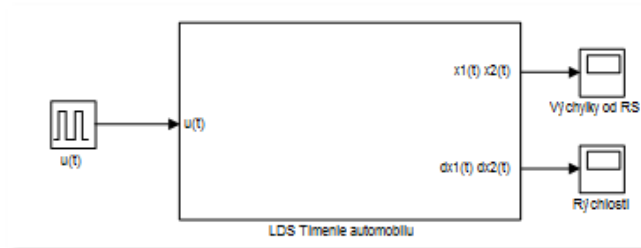


✓ Vytvorenie subsystému a masky systému

Tým je simulačný model systému tlmenia automobilu kompletný. Pre prehľadnosť môžeme celú schému zakomponovať do *subsystému* označeného prerušovanou čiarou. Predtým ale ešte pridáme dva multiplexory, ktoré slúžia na spojenie signálov polôh hm. bodov a rýchlostí.



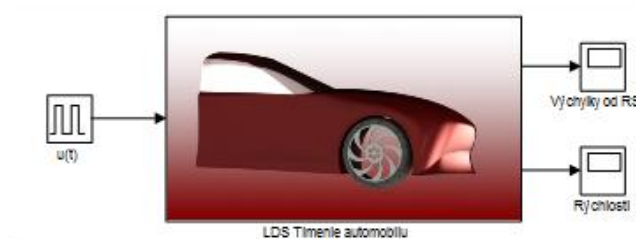
K celému simulačnému modelu pridáme vstupy a bloky na vykreslenie výsledkov.



V blokoch na vykreslenie je možné pod záložkou „History“ zaškrtnúť možnosť „Save data to workspace“ pre uloženie dát do pracovného prostredia MATLAB a následnú prácu s nimi. Dáta je možné ukladať vo viacerých formátoch so zvoleným názvom zadaným do textboxu „Variable name“.

Vzhľad *subsystemu* je možné upravovať pridaním masky. Maska ponúka možnosť zadávania parametrov systému pri dvojkliknutí na subsystem. Alebo zmenu vzhľadu celého subsystemu nasledovne. Najprv pridáme samotnú masku pravým kliknutím na subsystem, vyhľadáme možnosť „Mask“ a klikneme na „Create Mask“.

Zobrazí sa nám okno „Mask Editor“, kde v záložke „Icon & Ports“ vložíme do textboxu „Icon drawing commands“ nasledujúci príkaz: `image(imread('auto.jpg'))`, pričom súbor s obrázkom je v rovnakom adresári ako simulačný model. Je možné načítať obrázok aj z iného adresára, ale v tom prípade sa musí zadať cesta k súboru.

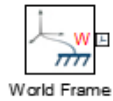

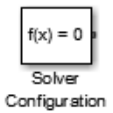




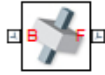
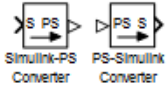
3. Implementácia matematického modelu tlmenia automobilu s využitím toolboxu SimMechanics

Zásadným rozdielom pri modelovaní systémov pomocou toolboxu SimMechanics je, že *nebudeme vychádzať z diferenciálnych rovníc systému*. Je dôležité si uvedomiť, že pri implementácii modelu do tohto prostredia sa *vychádza z geometrického usporiadania telies* a z jednotlivých typov väzieb medzi nimi. Veľmi zjednodušene sa dá povedať, že simulačný model vytvárame pomocou dokonale tuhých telies na základe ich kinematickej štruktúry.

Najväčším prínosom k modelovaniu v tomto prostredí je *automatická tvorba matematického modelu na základe definovaných telies a spojení medzi nimi*.

Model v SimMechanics je podobne ako model v Simulinku tvorený blokmi. Narozdiel od Simulinku sú *jednotlivé bloky spájané fyzikálnymi signálmi*, nie reprezentatívnymi signálmi Simulinku. Prepojenie je možné realizovať konvertormi fyzického signálu na signál Simulinku a opačne. V implementácii s využívame nasledovné funkcie toolboxu SimMechanics.

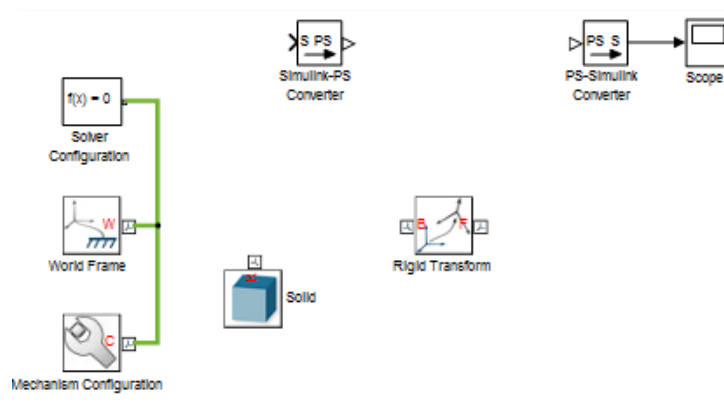
Blok SimMechanics	Popis	Označenie bloku
World Frame	World Frame predstavuje vonkajšie prostredie mechanického systému. Je to referenčný bod v priestore, ktorého poloha a orientácia je preddefinovaná a nie je závislá od žiadneho iného bloku modelu.	 World Frame
Mechanism Configuration	Mechanism Configuration poskytuje mechanické a simulačné parametre navzájom prepojeným blokom SimMechanics. Medzi voliteľné parametre patrí gravitačné zrýchlenie a linearizačný krok pri výpočte parciálnych derivácií počas linearizácie.	 Mechanism Configuration
Solver Configuration	Solver configuration špecifikuje typ matematického riešiteľa a iné nastavenia akým je napr. doba vzorkovania. Každá topologicky odlišná schéma v SimMechanics si vyžaduje práve jeden takýto blok.	 Solver Configuration
Solid	Blok Solid predstavuje dokonale tuhé teleso. Blok umožňuje meniť tvar, ťažisko a farbu telesa. Geometrické parametre bloku zahŕňajú <i>tvar a veľkosť</i> . SimMechanics dovoľuje importovanie vlastného tvaru z externého STL, alebo STEP súboru. Pri voľbe výpočtu ťažiska telesa máme k dispozícii 3 možnosti: <i>Calculate from Geometry, Point Mass, Custom</i> . Posledným parametrom bloku sú grafické vlastnosti. Umožňujú meniť farbu, priehľadnosť a mnoho iných vlastností	 Solid

<p>Rigid Transform</p>	<p>Rigid transform predstavuje časovo nemennú transformáciu medzi dvoma súradnicovými systémami. Transformácia je myslená v zmysle rotácie a translácie nasledujúceho súradnicového systému vzhľadom k základnému. Blok umožňuje realizovať rotáciu a transláciu viacerými spôsobmi.</p>	 <p>Rigid Transform</p>
<p>Prismatic Joint</p>	<p>Prismatic Joint reprezentuje translačnú väzbu medzi telesami s jedným stupňom voľnosti v smere osi Z. Samotný blok obsahuje veľa funkcionalít. Je v ňom možné zadať koeficienty pružnosti a tlmenia. Externé silny budiace systém sa pripájajú tiež na tento blok a nastavujú pomocou možností parametra Actuation. Snímanie polohy, rýchlosti, zrýchlenia, pôsobiacej sily na teleso sa realizuje tiež priamo v možnostiach parametra Sensing.</p>	 <p>Prismatic Joint</p>
<p>Simulink-PS Converter, PS-Simulink Converter</p>	<p>Simulink-PS Converter prevádza vstupný signál Simulinku do fyzického signálu. Je potrebný na pripojenie klasických blokov Simulinku k fyzikálnej časti modelu. PS-Simulink Converter pracuje na opačnom princípe.</p>	 <p>Simulink-PS Converter PS-Simulink Converter</p>

Postup zostavenia simulačného modelu

✓ Vytvorenie nového modelu

Pre vytvorenie nového modelu v SimMechanics postačí zadať príkaz *smnew* do príkazového riadku MATLABu. Po vykonaní tohto príkazu sa nám objaví základná schéma s blokmi a knižnica blokov toolboxu SimMechanics.

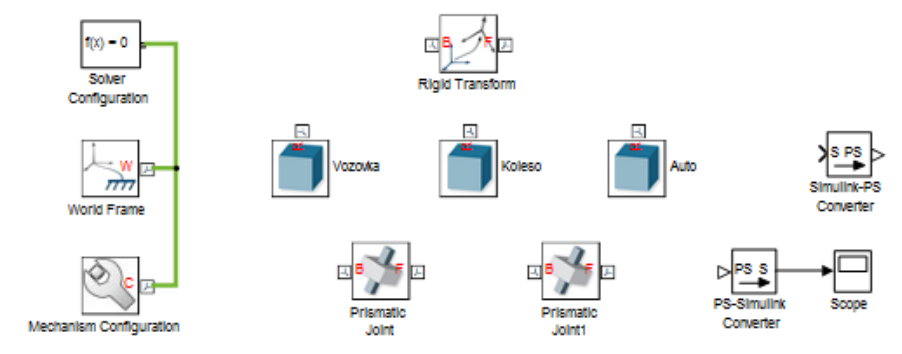


Môžeme si všimnúť, že bloky *Solver Configuration*, *World Frame* a *Mechanism Configuration* sú vždy v každej schéme nutne prepojené.

Implementácia vychádza z bloku *World Frame*, ktorý predstavuje základný invariantný súradnicový systém. V Bloku *Mechanism Configuration* nastavíme gravitáciu pod položkou „Uniform Gravity“ na hodnotu „None“. Za prítomnosti gravitačného zrýchlenia by sme sa po istom čase dostali do rovnovážneho stavu, ktorý sme si odvodili v rovniciach, kde sme si vytvorili nový

súradnicový systém. Takže nie je nutné ho viac uvažovať. Bloky *World Frame* a *Solver Configuration* nechávame na defaultných hodnotách.

✓ **Pridanie ďalších blokov predstavujúcich telesá sústavy a väzby**



Do schémy pridáme ďalšie bloky s ktorými budeme implementáciu realizovať. Potrebovať budeme dve translačné väzby *Prismatic Joint* (nájsť ju môžeme v knižnici v blokoch *Joints*), ďalšie dve telesá *Solid* (nachádzajúce sa medzi blokmi *Body Elements*). Jednotlivé bloky *Solid* predstavujú telesá sústavy.

✓ **Nastavenie vlastností hm. bodov**


- Prvý *Solid* blok reprezentuje vozovku (slúži len na ilustráciu, nezasahuje priamo do dynamických vlastností sústavy). Dvojkliknutím nastavíme jeho vlastnosti nasledovne:

Geometry		
Shape	Brick	▼
Dimensions	[1 1 0.02]	m ▼
Inertia		
Graphic		
Type	From Geometry	▼
Visual Properties		
Color	[0.1 0.1 0.1]	■
Opacity	1.0	

- Druhý *Solid* blok reprezentuje koleso a nápravu. Jeho vlastnosti sú nastavené takto:

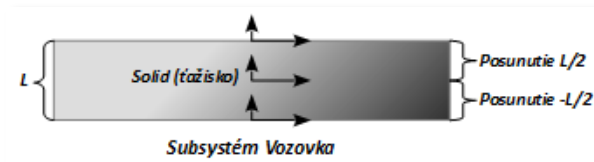
Geometry		
Shape	Cylinder	▼
Radius	0.25	m ▼
Length	0.2	m ▼
Inertia		
Type	Point Mass	▼
Mass	m2	kg ▼
Graphic		
Type	From Geometry	▼
Visual Properties		
Color	[0.2 0.2 0.2]	■
Opacity	1.0	

- Tretí *Solid* blok reprezentuje štvrtinovú váhu automobilu. Jeho vlastnosti sú dané takto:

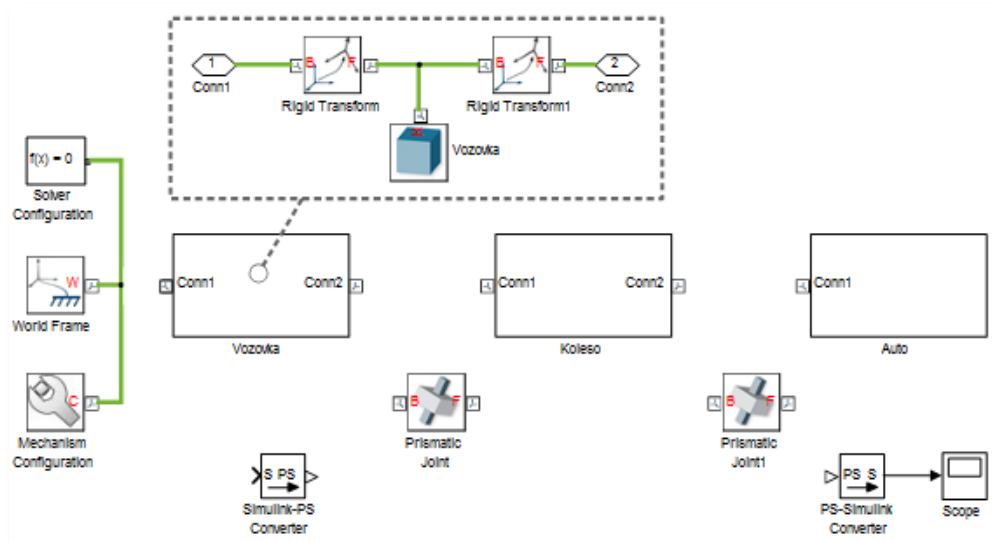
Geometry		
Shape	Brick	
Dimensions	[0.5 0.5 0.2]	m
Inertia		
Type	Point Mass	
Mass	m1	kg
Graphic		
Type	From Geometry	
Visual Properties		
Color	[0.4 0.0 0.0]	
Opacity	1.0	

✓ Vytvorenie subsystémov a posunutie

Ku všetkým blokom *Solid* je teraz nutné definovať posunutia ktorými transformujeme jednotlivé pripojenia na vrchnú a spodnú stranu objektu z ťažiska. Situáciu zobrazuje nasledovný obrázok.



K posunutiu a rotácii súradnicového systému v SimMechanics slúži blok *Rigid transform*.



Podsystem *Vozovka* (podľa obrázka) a *Koleso* obsahujú dve translácie a *Auto* jednu, keďže za neho nepripájame nič. V prípade *Kolesa* využijeme aj možnosť rotácie osi v bloku *Rigid Transform*. Jednotlivé translácie odpovedajú polovičnej veľkosti uvažovaného objektu. Z toho dôvodu je nutné ich mať dve, čo znázorňuje aj ilustračný obrázok *Subsystem Vozovka*.

✓ **Nastavenie translácií a rotácií súradnicového systému**

➤ Subsystem *Vozovka*

Rotation		
Method	None	
Translation		
Method	Standard Axis	
Axis	+Z	
Offset	0.01	m

➤ Subsystem *Koleso*

V prípade podsystému *Koleso* je v nastavení *Rigid Transform* nutné okrem translačnej transformácie vykonať aj rotačnú, keďže koleso je vytvorené v tvare valca, ktorého podstava je umiestnená v rovine x,y .

Rotation		
Method	Standard Axis	
Axis	+X	
Angle	90	deg
Translation		
Method	Standard Axis	
Axis	+Z	
Offset	0.25	m

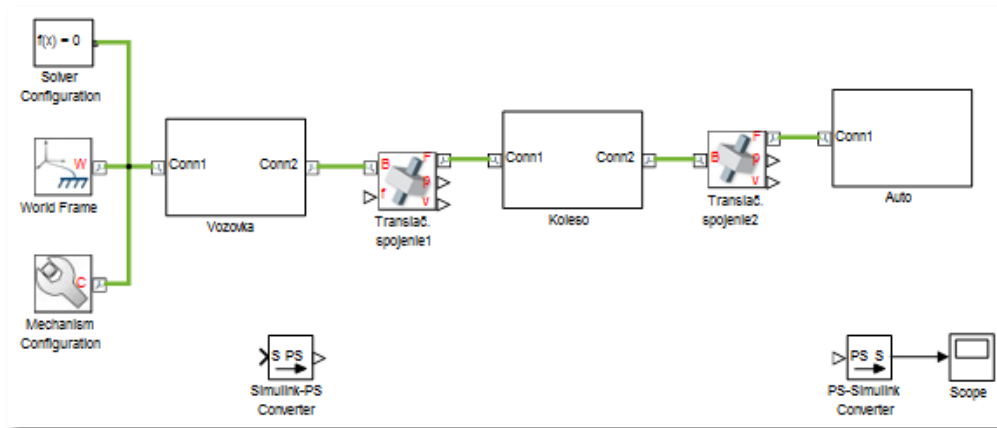
Priradené ani druhý *Rigid Transform* subsystemu neslúži len na posunutie súradnicového systému, ale ho aj otáča späť. Parameter „*Rotation*“ je nastavený na „-X“ o rovnaký uhol, ako predchádzajúci transformačný blok (90 stupňov).

➤ Subsystem *Auto*

Rotation		
Method	None	
Translation		
Method	Standard Axis	
Axis	+Z	
Offset	0.1	m

✓ **Prepojenie schémy a nastavenie väzieb**

Ďalším krokom v modelovaní je spojenie subsystemov väzbami. Bloky *translačného spojenia* (*Prismatic Joint*) slúžia k samotnej realizácii pohybu hmotných bodov. V nich sa okrem iného definujú jednotlivé konštanty pružnosti, či tlmenia. V súlade s kinematickou štruktúrou zobrazenou na obrázku na začiatku modelovania mat. modelu, prepojíme jednotlivé objekty schémy, čím dospejeme k nasledujúcemu obrázku.



Pričom parametre bloku *Translačné spojenie1*, sú nastavené:

Z Prismatic Primitive (Pz)		
+ State Targets		
- Internal Mechanics		
Equilibrium Posi...	0	m
Spring Stiffness	k2	N/m
Damping Coeffi...	0	N/(m/s)
- Actuation		
Force	Provided by Input	
Motion	Automatically Computed	
- Sensing		
Position	<input checked="" type="checkbox"/>	
Velocity	<input checked="" type="checkbox"/>	
Acceleration	<input type="checkbox"/>	
Actuator Force	<input type="checkbox"/>	
+ Composite Force/Torque Sensing		

Ako vidíme blok zahŕňa koeficient pružnosti pneumatiky, umožňuje privádzať vstupnú silu „*Actuation*“ z ktorej automaticky vypočíta pohyb kolesa a zaznamenáva „*Sensing*“ jeho polohu a rýchlosť.

Parametre bloku *Translačné spojenie2*:

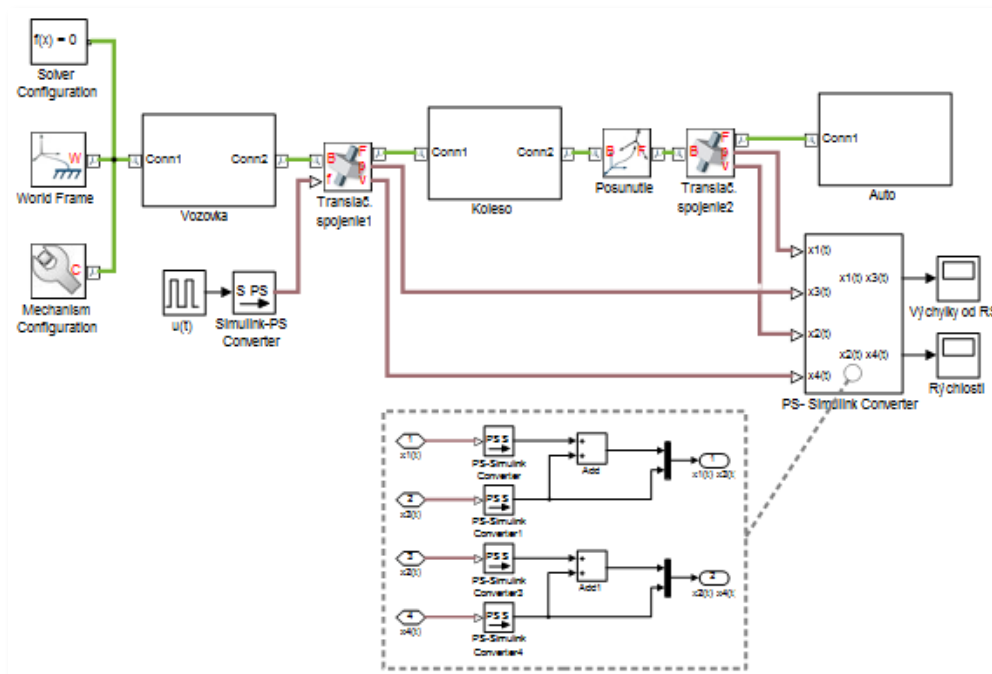
Z Prismatic Primitive (Pz)		
+ State Targets		
- Internal Mechanics		
Equilibrium Posi...	0	m
Spring Stiffness	k1	N/m
Damping Coeffi...	b	N/(m/s)
+ Actuation		
- Sensing		
Position	<input checked="" type="checkbox"/>	
Velocity	<input checked="" type="checkbox"/>	
Acceleration	<input type="checkbox"/>	
Actuator Force	<input type="checkbox"/>	
+ Composite Force/Torque Sensing		

✓ **Pripojenie vstupných a výstupných blokov**

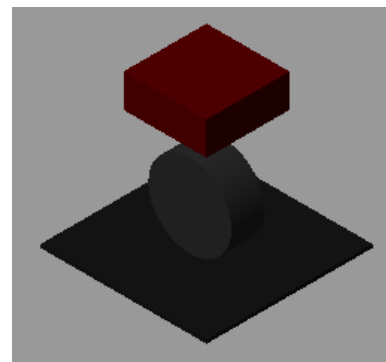
Vstupom do systému sú rovnaké nerovnosti, ako v simulačnom modeli Simulinku. Rozdielom je nutnosť ich konvertovania na fyzický signál pomocou bloku *Simulink-PS Converter*.

V neposlednom rade schéma obsahuje blok *Posunutie*, ktorý tvorí jednoduchú medzeru medzi telesami kola a auta.

Na prevod týchto signálov na klasické Simulinku, nám slúži *Subsystem PS-Simulink Converter*. Je vytvorený z dvoch dôvodov. Jedným je úhľadnosť schémy a tým hlavným, že sa v ňom vykonáva aj operácia sčítania signálov. Keďže SimMechanics vykresľuje stavy auta relatívne voči kolesu, je nutné pričítať k stavom auta stavy kola. Tým pádom výstupom na *Scope* sú absolútne stavy telies, zhodné s výsledkami z prostredia Simulinku.



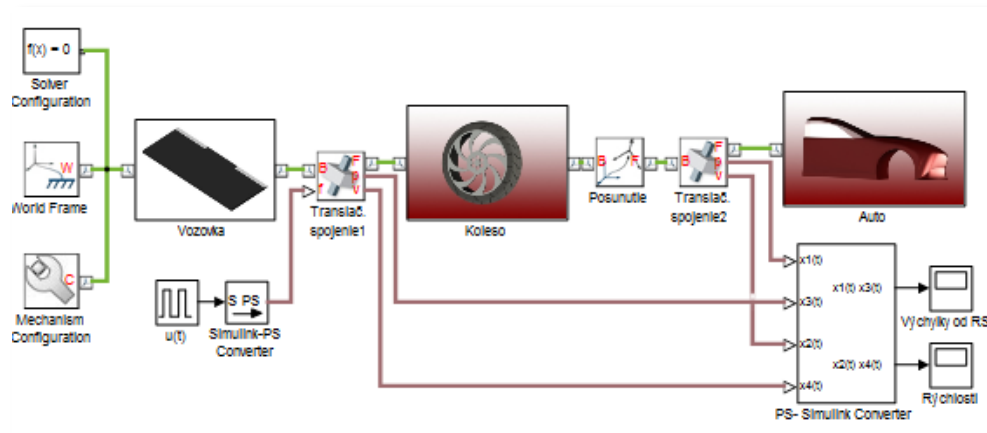
Tým je simulačný model kompletný. S preddefinovanými parametrami v MATLABe sa dá otvoriť okno *Mechanics Explorers* pomocou skratky CTL+D. Predstavuje vizualizáciu simulácie a umožňuje odkontrolovať si systém. SimMechanics teda poskytuje vizualizáciu celého priebehu simulácie. V prípade, že sme modelovali správne sa nám po jeho spustení naskytne nasledujúci obraz odpovedajúci obrázku vpravo.



✓ **Úprava vzhľadu schémy a simulácie (nepovinné)**

Pre úpravu vzhľadu schémy a vizualizácie môžeme postupovať takto :

- Vzhľad schémy môžeme opäť vylepšiť pomocou masky, kde môžeme pridať obrázky jednotlivých častí schémy.



- Vzhľad simulácie môžeme vylepšiť pomocou importovania vlastných STL, STEP súborov nakreslených v CAD nástrojoch. Importovanie sa realizuje v blokoch *Solid*.

Geometry		
Shape	From File	
File Type	STEP	
File Name	SolidWorksfiles\Auto.STEP	
Inertia		
Type	Point Mass	
Mass	m1	kg
Graphic		

Po výmene všetkých jednoduchých tvarov telies simulačnej schémy vyzerá simulácia nasledovne.



4. Simulácia systému na rôzne typové signály

Pred simuláciou v oboch simulačných schémach nastavíme solver na *ode45* s maximálnym krokom 0.05 a dobu simulácie na 10 sekúnd. Vo všetkých simuláciách sú počiatočné podmienky rovné nule.

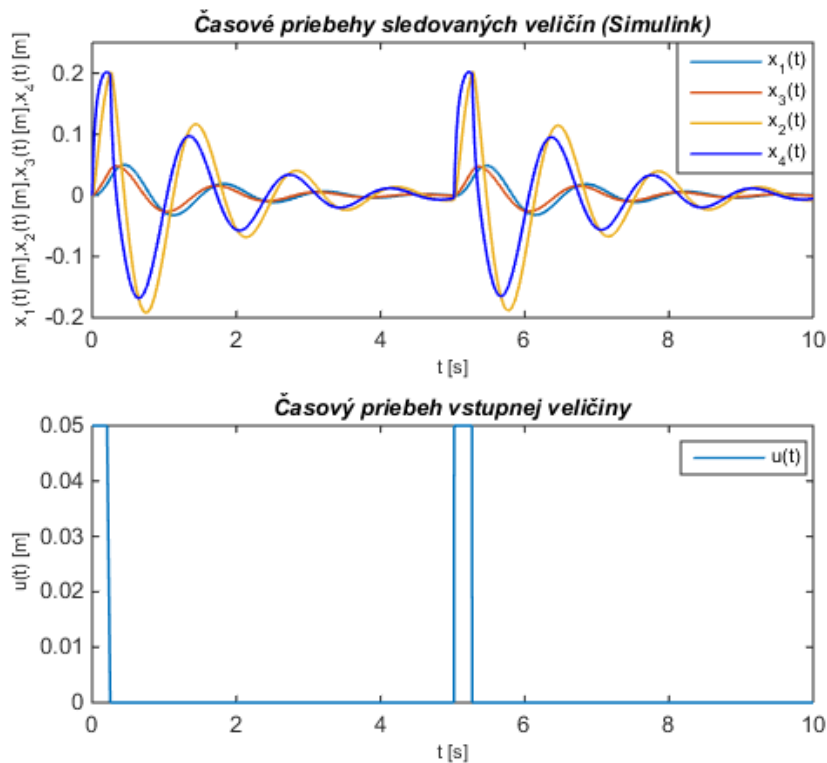
Parametre simulačných modelov:

Parametre:

$$\begin{aligned} m_1 &= 300 \text{ [kg]} & m_2 &= 100 \text{ [kg]} \\ k_1 &= 8000 \text{ [Nm}^{-1}\text{]}, & k_2 &= 10000 \text{ [Nm}^{-1}\text{]} \\ b &= 3000 \text{ [Nms}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

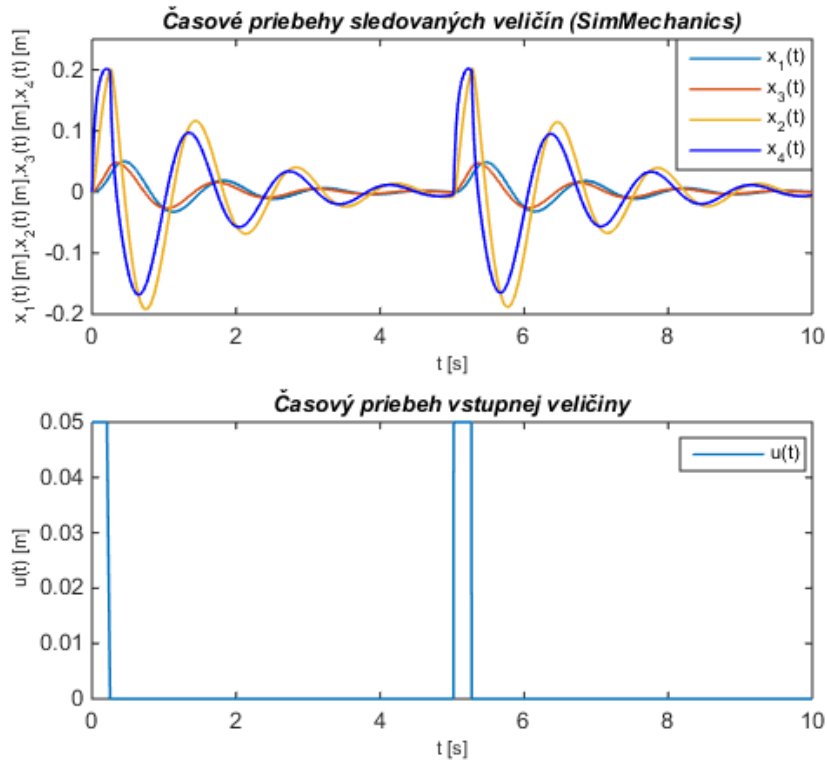
➤ **Odozva systému na signál pulzu v sim. modeli Simulinku**

Vlastnosti vstupného signálu: amplitúda 0.05 [m], perióda o dĺžke 5 [s] a šírka pulzu 0.5 [s].



➤ **Odozva systému na signál pulzu v sim. modeli toolboxu SimMechanics**

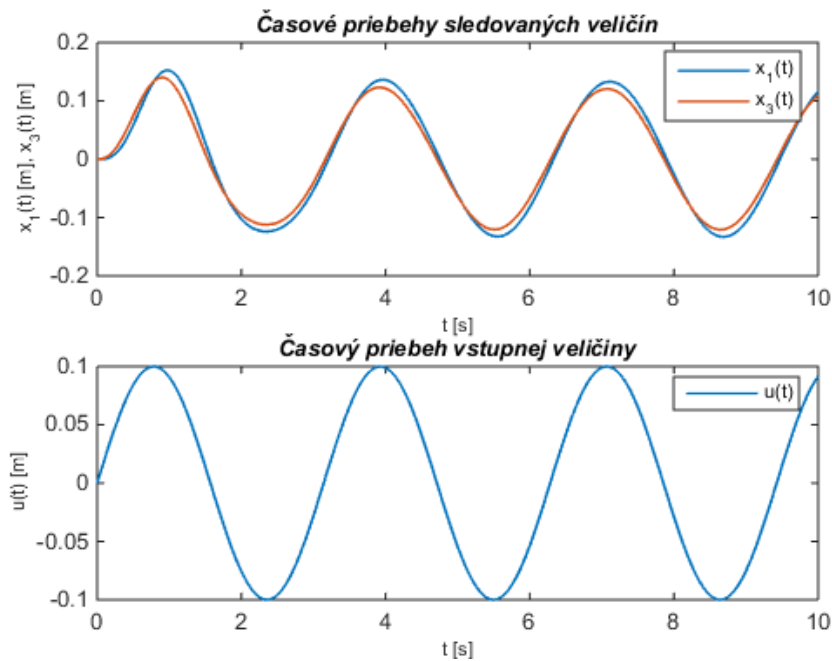
Vlastnosti vstupného signálu: amplitúda 0.05 [m], perióda o dĺžke 5 [s] a šírka pulzu 0.5 [s].



Podľa očakávania sú výstupy SimMechanics a Simulink identické, čo dokazuje korektnosť pri modelovaní. Z toho dôvodu ďalej uvádzame časové charakteristiky na vstupné signály len raz.

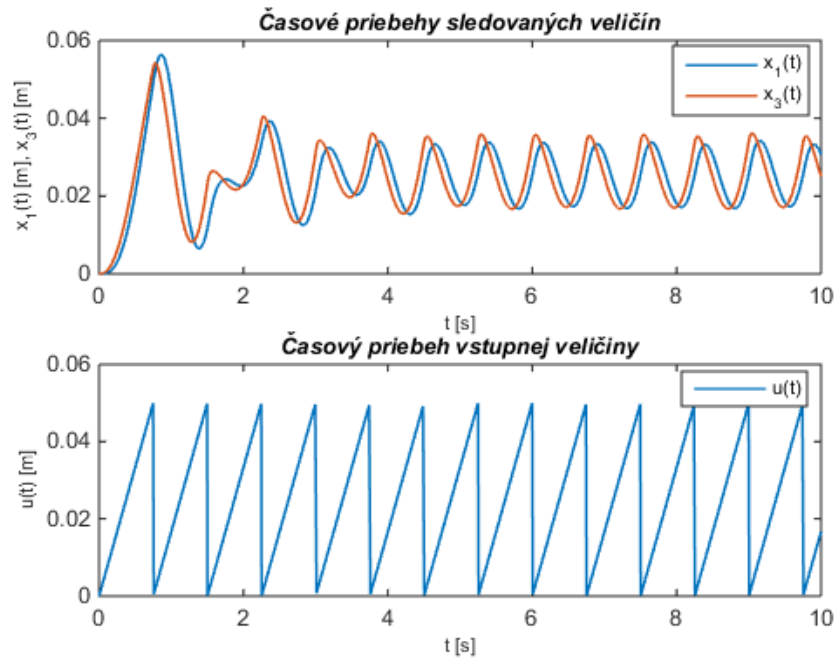
➤ **Odozva systému na signál sínusoidy v sim. modeli toolboxu SimMechanics**

Vlastnosti vstupného signálu: amplitúda 0.1 [m], frekvencia 2 [rad/s].



➤ **Odozva systému na signál opakujúcej sa sekvencie v sim. modeli toolboxu SimMechanics**

Vlastnosti vstupného signálu: amplitúda 0.05 [m], perióda 0.75 [s].



- **Odozva systému na signál zväčšujúceho sa pulzu v sim. modeli toolboxu SimMechanics**
- Vlastnosti vstupného signálu: min. amplitúda 0.02 [m], max. amplitúda 0.1 [m].

