

Využití prostředí Simscape a jeho rozšíření ve výuce předmětů Automatizace a Teorie systémů

Michal Jarmar

Bakalářská práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal Jarmar**
Osobní číslo: **A11113**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Využití prostředí Simscape a jeho rozšíření ve výuce
předmětů Automatizace a Teorie systémů**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte prostředí Simscape a jeho rozšíření a stručně je popište.
2. Zpracujte stručný přehled dostupných informačních zdrojů o Simscape v češtině.
3. Vypracujte přehled témat probíraných v předmětech Automatizace a Teorie systémů, která mohou být vhodně demonstrována v prostředí Simscape.
4. Vytvořte přehledný manuál pro základní práci se Simscape.
5. Demonstrujte využití prostředí Simscape na vybraných modelech dynamických systémů.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **FRANKLIN, Gene F., J. David POWELL a Abbas EMAMI-NAEINI.** Feedback Control of Dynamic Systems. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006, xvii, 910 s. ISBN 01-314-9930-0.
2. **GREPL, Robert.** Modelování mechatronických systémů v Matlab SimMechanics. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-226-8.
3. **KARBAN, Pavel.** Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 978-80-251-1448-3.
4. **MATHWORKS.**
Simscape: Users Guide. In: MathWorks [online]. 1994 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/help/releases/R2013b/pdf_doc/physmod/simscape/simscape Ug.
5. **OGATA, Katsuhiko.** System Dynamics. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004, ix, 768 s. ISBN 01-314-2462-9.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Libor Pekař, Ph.D.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

28. února 2014

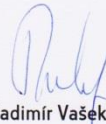
Termín odevzdání bakalářské práce:

13. června 2014

Ve Zlíně dne 28. února 2014


prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan




prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je seznámení se Simscape, který rozšiřuje nástroje pro modelování a simulace. Zavádí do simulačních schémat reálné fyzikální veličiny, jako jsou síly, momenty, napětí, proudy, tlaky, průtoky atd. V teoretické části je tento program popsán společně s jeho rozšířeními SimMechanics, SimElectronics a SimHydraulics. Je zde uveden přehled témat z předmětů Automatizace a Teorie systémů, kde by mohl být Simscape vhodně využit. V praktické části je vytvořen manuál pro základní práci se Simscape. Na závěr práce je demonstrováno využití Simscape na vybraných modelech dynamických systémů.

Klíčová slova: Simscape, Simulink, SimElectronics, SimMechanics, SimHydraulics, Automatizace, Teorie systémů

ABSTRACT

The aim of this thesis is to introduce Simscape that extends tools for modeling and simulation. Via this programming environment, real physical quantities such as force, torque, voltage, current, pressure, flow, etc can be introduced into simulation schemes. The programme is described in the theoretical part of this thesis together with its extensions SimMechanics, SimElectronics and SimHydraulics. The work also brings about an overview of topics of both the subjects Automation and System Theory, which could be properly utilized in Simscape. A user manual for basic work with Simscape constitutes the main goal of the practical part of this thesis Finally, its demonstrated the use of Simscape on selected models of dynamic systems.

Keywords: Simscape, Simulink, SimElectronics, SimMechanics, SimHydraulics, Automation, Systems Theory

Rád bych poděkoval mému vedoucímu práce panu Ing. Liboru Pekařovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, poskytnutou literaturu a ochotu při řešení dané problematiky. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu při studiu a psaní této práce.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 MATLAB	11
2 SIMULINK	13
3 SIMSCAPE	15
3.1 KLÍČOVÉ VLASTNOSTI	16
3.2 FYZIKÁLNÍ SYSTÉM MODELOVÁNÍ	16
3.3 KNIHOVNY KOMPONENT.....	17
3.3.1 Modelování mechanických částí	17
3.3.2 Modelování elektrických modelů.....	17
3.3.3 Modelování hydraulických komponent.....	17
3.3.4 Modelování tepelných procesů	18
3.3.5 Práce s fyzikálními signály	18
3.4 JAZYK SIMSCAPE.....	19
3.5 PŘEVOD SIMSCAPE DO C KÓDU	20
3.5.1 HIL testování.....	20
3.6 FYZIKÁLNÍ JEDNOTKY V SIMSCAPE	20
4 SIMMECHANICS	21
4.1 KLÍČOVÉ VLASTNOSTI	22
4.2 MODELOVÁNÍ SOUSTAV TĚLES	22
4.3 IMPORTOVÁNÍ MODELŮ Z CAD SYSTÉMŮ	22
4.4 SIMULACE MODELŮ	23
4.5 VYUŽITÍ VE VÝUCE.....	23
5 SIMELECTRONICS	25
5.1 KLÍČOVÉ VLASTNOSTI	25
5.2 MODELOVÁNÍ MECHATRONICKÝCH SYSTÉMŮ	25
5.3 MODELOVÁNÍ ELEKTRICKÝCH SYSTÉMŮ	26
6 SIMHYDRAULICS	28
6.1 KLÍČOVÉ VLASTNOSTI	29
6.2 MODELOVÁNÍ HYDRAULICKÉ A HYDROMECHANICKÉ SÍTĚ	29
6.3 MODELOVÁNÍ HYDRAULICKÝCH KOMPONENT.....	29
6.4 DEFINOVÁNÍ VLASTNOSTÍ TEKUTIN	31
7 INFORMACE O SIMSCAPE V ČEŠTINĚ	32
7.1 ZDROJE NA INTERNETU	32
7.2 KNIHA O SIMMECHANICS.....	32
8 VYUŽITÍ SIMSCAPE V AUTOMATIZACI A TEORII SYSTÉMŮ	33
8.1 VYBRANÁ TÉMATA Z PŘEDMĚTU AUTOMATIZACE.....	33
8.1.1 Matematické modelování dynamických systémů.	33
8.1.2 Statická charakteristika	33
8.1.3 Analýza lineárních spojitých dynamických systémů.	33

8.2	VYBRANÁ TÉMATA Z PŘEDMĚTU TEORIE SYSTÉMŮ.....	33
8.2.1	Stabilita LSDS.....	33
8.2.2	Polynomiální metoda návrhu regulátorů.....	33
II	PRAKTICKÁ ČÁST	34
9	MANUÁL PRO ZÁKLADNÍ PRÁCI SE SIMSCAPE.....	35
9.1	MOŽNOSTI SPUŠTĚNÍ SIMSCAPE	35
9.2	HLAVNÍ BLOKY	37
9.2.1	Elektrické komponenty	37
9.2.2	Hydraulické komponenty	38
9.2.3	Mechanické komponenty	39
9.3	PRVNÍ MODEL.....	40
9.4	MODEL JEDNODUCHÉHO MECHANICKÉHO SYSTÉMU.....	41
9.5	MODEL JEDNODUCHÉHO ELEKTRICKÉHO OBVODU	45
9.6	MODEL FYZIKÁLNÍHO KYVADLA V SIMMECHANICS.....	47
10	SROVNÁNÍ VYTVOŘENÝCH MODELŮ S MATEMATICKÝM MODELEM	52
10.1	MODEL JEDNODUCHÉHO MECHANICKÉHO SYSTÉMU.....	52
10.2	MODEL JEDNODUCHÉHO ELEKTRICKÉHO OBVODU	53
11	VYTVOŘENÉ MODEL Y	55
11.1	MODEL DVOUCESTNÉHO VENTILU V SIMHYDRAULICS	55
11.2	MODEL DC MOTORU V SIMSCAPE.....	57
11.3	MODEL DVOJITÉHO KYVADLA V SIMMECHANICS	60
11.4	MODEL INVERZNÍHO KYVADLA NA VOZÍKU V SIMMECHANICS	62
	ZÁVĚR	66
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	67
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

ÚVOD

Počítačové modelování je podstatnou součástí moderního přístupu k návrhu technických objektů. Moderní přístupy matematického modelování jsou mocným nástrojem, který umožňuje dosáhnout, díky výpočetní technice, stanoveného cíle efektivně a v krátkém čase. Prostředky fyzikálního modelování umožňují snadno popsat objekty reálného světa. Mezi nejznámější nástroje, spadající do této oblasti, patří prostředí Matlab a jeho rozšíření Simulink a Simscape.

Předmětem této práce je nastudování Simscape a jeho rozšíření, vytvoření stručného manuálu a poté využití tohoto nástroje k výuce předmětů Automatizace a Teorie systémů. V těchto předmětech se systémy popisují pomocí diferenciálních rovnic. Simscape poskytuje úplně odlišný přístup k modelování, k vytvoření modelu není potřeba žádných výpočtů, postačí fyzikální schéma a fyzikální veličiny, které jsou s daným systémem spojené.

Teoretická část se věnuje popisu Simscape a jeho rozšíření SimMechanics, SimElectronics a SimHydraulics. Před samotným popisem těchto prostředí je popsán software Matlab a Simulink. V teoretické části jsou ke každému rozšíření uvedeny jeho klíčové vlastnosti, využití a princip modelování. Na závěr je v této části přehled témat, kde by mohl být Simscape využit.

V praktické části je vytvořen manuál, který popisuje základní knihovny Simscape, a poté je stručně popsán doporučený postup při vytváření modelu. V manuálu jsou vytvořeny tři modely. Mechanický model, který popisuje jednoduché odpružení u automobilu, jednoduchý elektrický obvod a fyzikální kyvadlo, kde bylo využito rozšíření SimMechanics. Na závěr práce jsou stručně popsány další modely, které byly vytvořeny jako součást této bakalářské práce. Všechny modely, uvedené v této práci, jsou dostupné na přiloženém CD.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MATLAB

Před samotným popisem Simscape bude popsáno prostředí Matlab, bez tohoto software by Simscape nemohl existovat, protože Simscape je pouze jeho rozšířením (toolboxem).

Toolbox – jde o rozšiřující modul v Matlabu, tzv. aplikační knihovna.

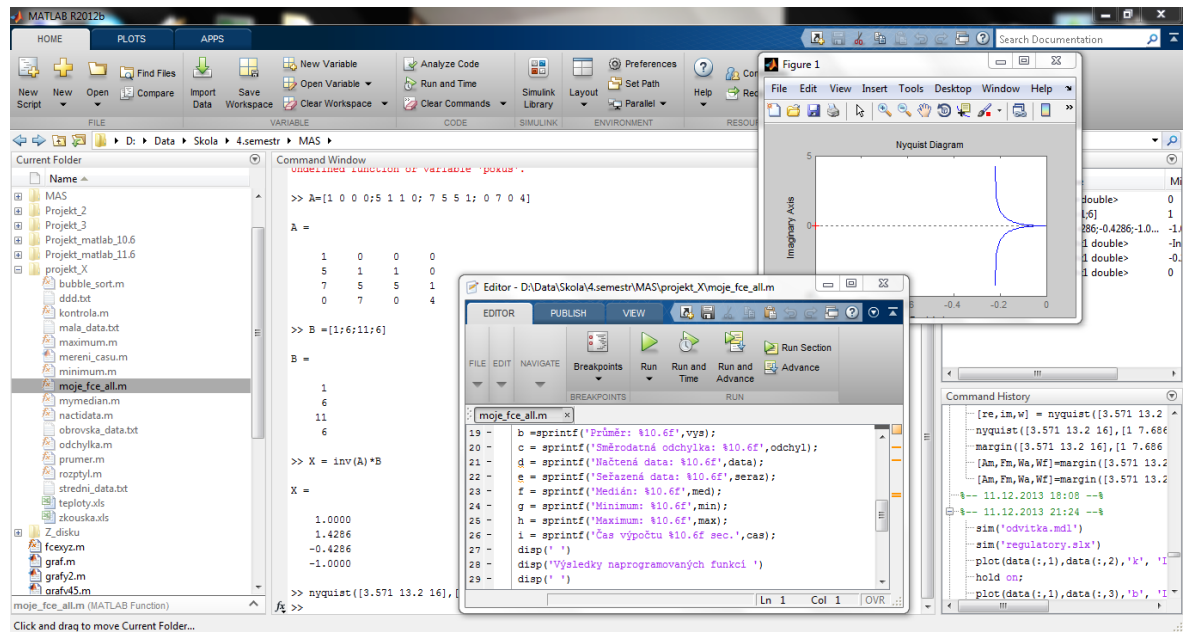
MATLAB (MATrix LABoratory = maticová laboratoř) je výkonné interaktivní prostředí a skriptovací programovací jazyk čtvrté generace pro vědecké výpočty. Spojuje technické výpočty, vizualizaci dat a programovací jazyk v jednom prostředí, jeho ukázka je znázorněna na Obr. č. 1. Díky dostupným modulům tak vytváří ideální prostředek pro inženýry, vědce, matematiky, učitele a studenty při řešení problémů z mnoha oblastí. Program je vyvíjen společností MathWorks. [1]

Existuje široká komunita lidí, kteří používají při své práci Matlab. Firma MathWorks na svých internetových stránkách provozuje Matlab Central. Tato stránka slouží uživatelům Matlabu a jeho rozšíření pro výměnu informací. Nachází se zde tisíce příkladů ze všech oblastí lidského bádání, soubory jsou rozříděny do kategorií a jsou k dispozici k volnému stažení.

Mezi klíčové vlastnosti Matlabu patří:

- vysokoúrovňový jazyk pro technické výpočty
- otevřený a rozšířitelný systém
- velké množství aplikačních knihoven
- podpora vícerozměrných polí a struktur
- interaktivní nástroje pro tvorbu GUI (graphical user interface – grafické uživatelské rozhraní)
- import a export dat do mnoha formátů
- komunikace s externími měřícími a monitorovacími přístroji v reálném čase
- rozšířitelnost modulů jazyky C, C++, Fortran, Java

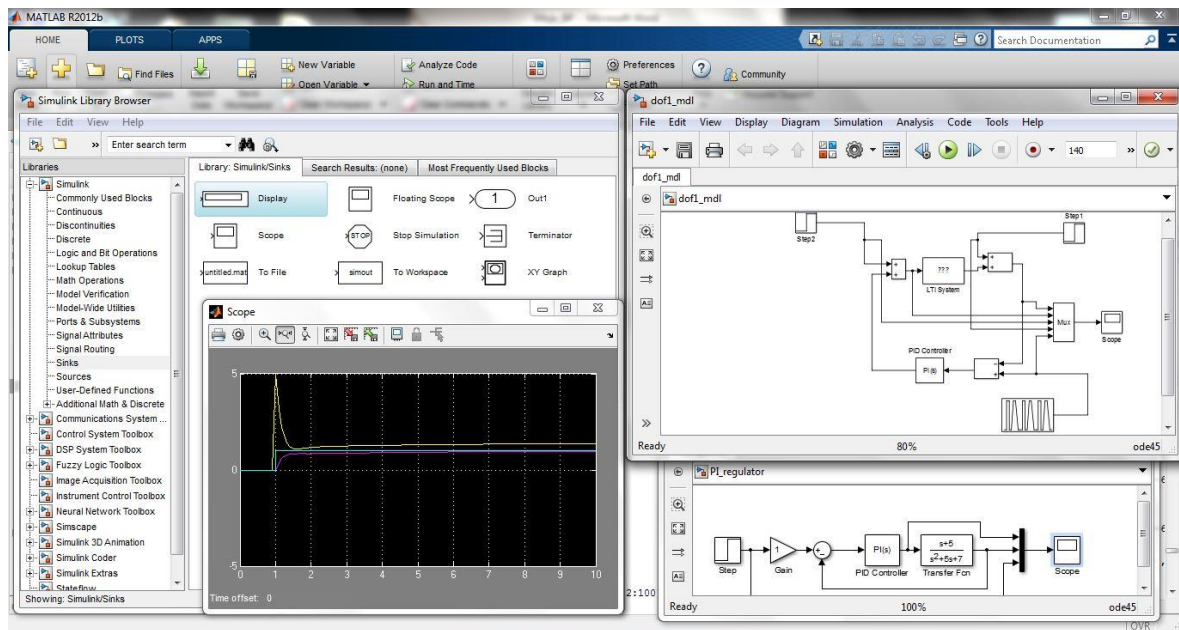
[1]



Obr. č. 1 – Ukázka prostředí Matlab

2 SIMULINK

Název Simulink vznikl spojením dvou anglických slov SIMULATION a LINK – simulace a spojení. Je to jedno z nejznámějších a nejpoužívanějších rozšíření v Matlabu. Využívá Matlab pro modelování, simulaci a analýzu dynamických systémů v přehledném grafickém uživatelském prostředí, které je znázorněno na Obr. č. 2.



Obr. č. 2 – Ukázka prostředí Simulink

Tvorba modelů je velice rychlá. Simulink obsahuje obrovské množství předdefinovaných bloků pro analýzu systémů. Pokud je rozšíření Simulink obsaženo v Matlabu, tak se stává jeho součástí. Přecházení mezi Matlabem a Simulinkem je tak velmi jednoduché. Lze tak využívat výhody obou prostředí. Simulink umožňuje kromě standartních úloh rychlou a přesnou simulaci "stiff" systému s efektivním využitím paměti počítače. [1, 2]

Označení "stiff" se používá u některých fyzikálních systémů, kde je řešení diferenciálních rovnic, kterými je systém popsán, velmi problematické. Při použití některých numerických metod je řešení rovnic numericky nestabilní (ztráta přesnosti numerického řešení úlohy). [3]

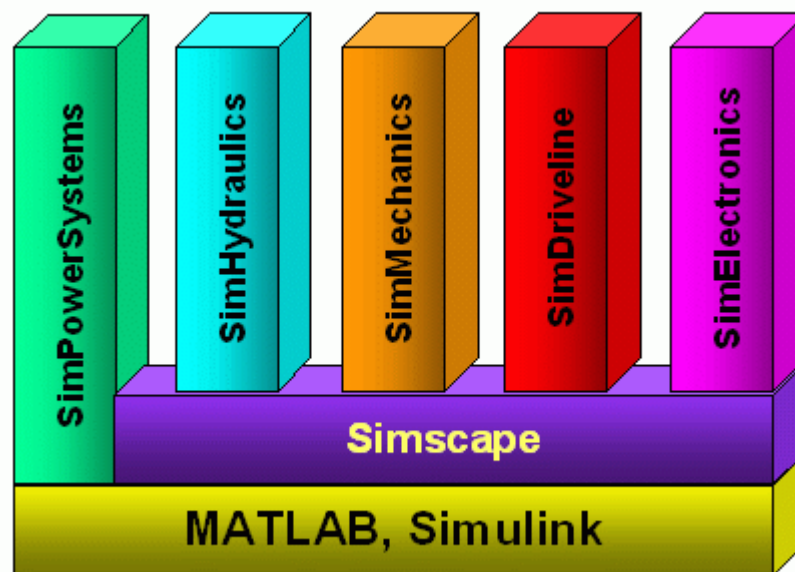
Pomocí Simulinku a jeho grafického editoru lze vytvářet modely lineárních, nelineárních, v čase diskretních nebo spojitých systémů pouhým přesunutím funkčních bloků myší.

Na základě výsledku logické podmínky je možné spouštět jen určitou část simulačního schématu. Spouštěné a povolované subsystémy umožňují použití programu v náročných simulačních experimentech. Samozřejmostí je otevřená architektura, která dovoluje uživateli vytváření vlastních funkčních bloků, s možností rozšíření rozsáhlé knihovny Simulinku.

Hierarchická struktura modelů umožňuje koncipovat i velmi složité systémy do přehledné soustavy subsystémů prakticky bez omezení počtu bloků. Simulink, stejně jako Matlab, dovoluje připojovat funkce, které napsal uživatel v jazyce C. Vynikající grafické možnosti Simulinku je možné přímo využít k tvorbě dokumentace. Neocenitelná vlastnost Simulinku je nezávislost uživatelského rozhraní na počítačové platformě. Přenositelnost modelů a schémat mezi různými typy počítačů umožňuje vytvářet rozsáhlé modely, které vyžadují spolupráci většího kolektivu řešitelů na různých úrovních. [2]

3 SIMSCAPE

Simscape je dalším rozšiřujícím toolboxem Matlabu, přesněji řečeno rozšiřuje Simulink o další nástroje pro modelování a simulaci tzv. „multi – domain“ systémů. To jsou systémy, které obsahují propojení elektrických, hydraulických a mechanických komponent. Simscape využívá nový přístup k modelování systémů. V simulačních schématech používá reálné fyzikální veličiny, jako jsou proudy, napětí, tlaky, průtoky, síly, momenty a další. Stejně tak jako při montáži reálného systému, vzniká model v Simscape propojením bloků, které přímo odpovídají fyzickým prvkům reálného systému. Bloky se postupně spojují do sítě, ve které spojení mezi nimi odpovídá přenosům energie v systému. Pomocí propojení bloků se systémy modelují přímo podle popisu jejich fyzické struktury. Odbourává se tak potřeba odvozování příslušných matematických vztahů (přenosů) mezi sledovanými veličinami. Simscape tyto vztahy generuje automaticky



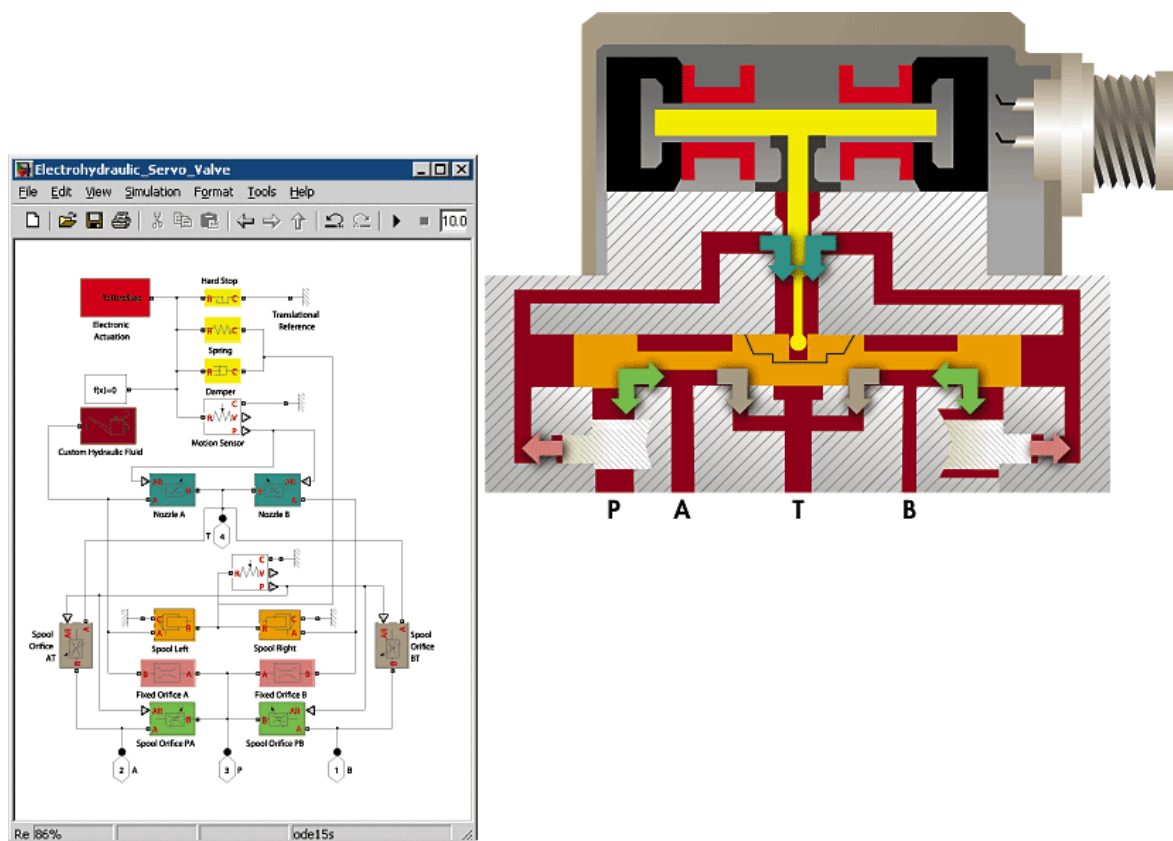
Obr. č. 3 – Přehled popisovaných rozšíření [4]

Simscape obsahuje knihovny základních elektrických, hydraulických a mechanických bloků, se kterými může uživatel vytvářet uživatelské bloky a schémata komplexnějších komponent systému. Simscape má velmi široké uplatnění a využití například v návrhu průmyslových a stavebních strojů, obraně, letectví, automobilovém průmyslu a podobně.

V Simscape je obsažený i vlastní jazyk, založený na jazyce Matlab. Lze jej použít k tvorbě uživatelských komponent, rozšiřujících knihovny prvků v dané fyzikální doméně, nebo ve tvorbě celých definovaných fyzikálních domén. [5]

3.1 Klíčové vlastnosti

- Jednotné prostředí pro modelování a simulaci mechanických, elektrických, hydraulických, tepelných a jiných „multi – domain“ fyzikálních systémů.
- Knihovny fyzikálních modelovacích bloků a matematických prvků pro vytváření vlastních komponent.
- Fyzikální jednotky pro parametry a proměnné se všemi převody jsou automaticky zpracovány.
- Schopnost simulace modelů, které obsahují bloky ze souvisejících fyzikálních modelů.
- Podpora pro C – generování kódu.



Obr. č. 4 – Ukázka modelu v Simscape – elektrohydraulický servoventil [5]

3.2 Fyzikální systém modelování

Simscape může vytvořit model systému stejně, jako bychom vytvářeli fyzikální systém. Komponenty (bloky) jsou spojeny pomocí čar, které znázorňují přenos energie, a odpovídají fyzikálním prvkům, jako jsou čerpadla, motory, operační zesilovače atd. Tento přístup umožňuje popsat fyzickou strukturu systému jinak, než umožňuje matematický

popis. Z modelu, který se úzce podobá schématu, Simscape vygeneruje soustavu algebraických diferenciálních rovnic (DAE), které charakterizují chování systému. Vygenerované soustavy rovnic jsou integrovány se zbývající částí modelu Simulink a jsou vyřešeny přímo. Proměnné pro komponenty různých fyzikálních domén jsou řešeny současně, aby se zabránilo problémům algebraických smyček, které je obtížné vyřešit matematicky. Obsažený řešitel v Simulink používá iterativní postupy k nalezení správného řešení. [6]

3.3 Knihovny komponent

Simscape umožňuje vytvářet modely z vlastních komponent vytvořených pomocí prvků obsažených v jeho základní knihovně. [6] Ukázka Simscape bloků je na Obr. č. 5.

3.3.1 Modelování mechanických částí

Simscape poskytuje mechanické stavební bloky pro zastupování jedno rozměrových translačních a rotačních pohybů. Kromě základních prvků jako je například hmota, pružina, tlumič obsahuje také nelineární prvky, jako je vůle a tření. Pokud by základní prvky při modelování nestačily, doporučuje se instalace podle potřeby SimMechanics a SimDriveline, kde je na výběr více prvků, zejména těch složitějších. [6]

3.3.2 Modelování elektrických modelů

Simscape poskytuje elektrické stavební bloky pro zastupování elektrických součástek a obvodů jako je například rezistor, kondenzátor, tlumivka. Kromě základních prvků obsahuje Simscape také složitější komponenty, jako jsou operační zesilovače, transformátory a jiné. Propracovanější elektronické komponenty jsou k dispozici v rozšíření SimElectronics. [6]

3.3.3 Modelování hydraulických komponent

Simscape poskytuje hydraulické stavební bloky, které simulují základní hydraulické účinky. Kombinací bloků se modelují složitější hydraulické komponenty. Hydraulické stavební bloky definují vztahy tlaku / průtoku na základních fyzikálních vlivech, jako je například stlačitelnost tekutiny, setrvačnost, mechanické tření, transdukce energie (proces, kdy se převádí jeden druh energie na jinou), průtok přes pevné i proměnlivé velikosti otvorů. Použité médium (tekutina) se definuje zadáním vlastností (hustota, viskozita...). Propracovanější hydraulické součásti jsou k dispozici v SimHydraulics. [6]

3.3.4 Modelování tepelných procesů

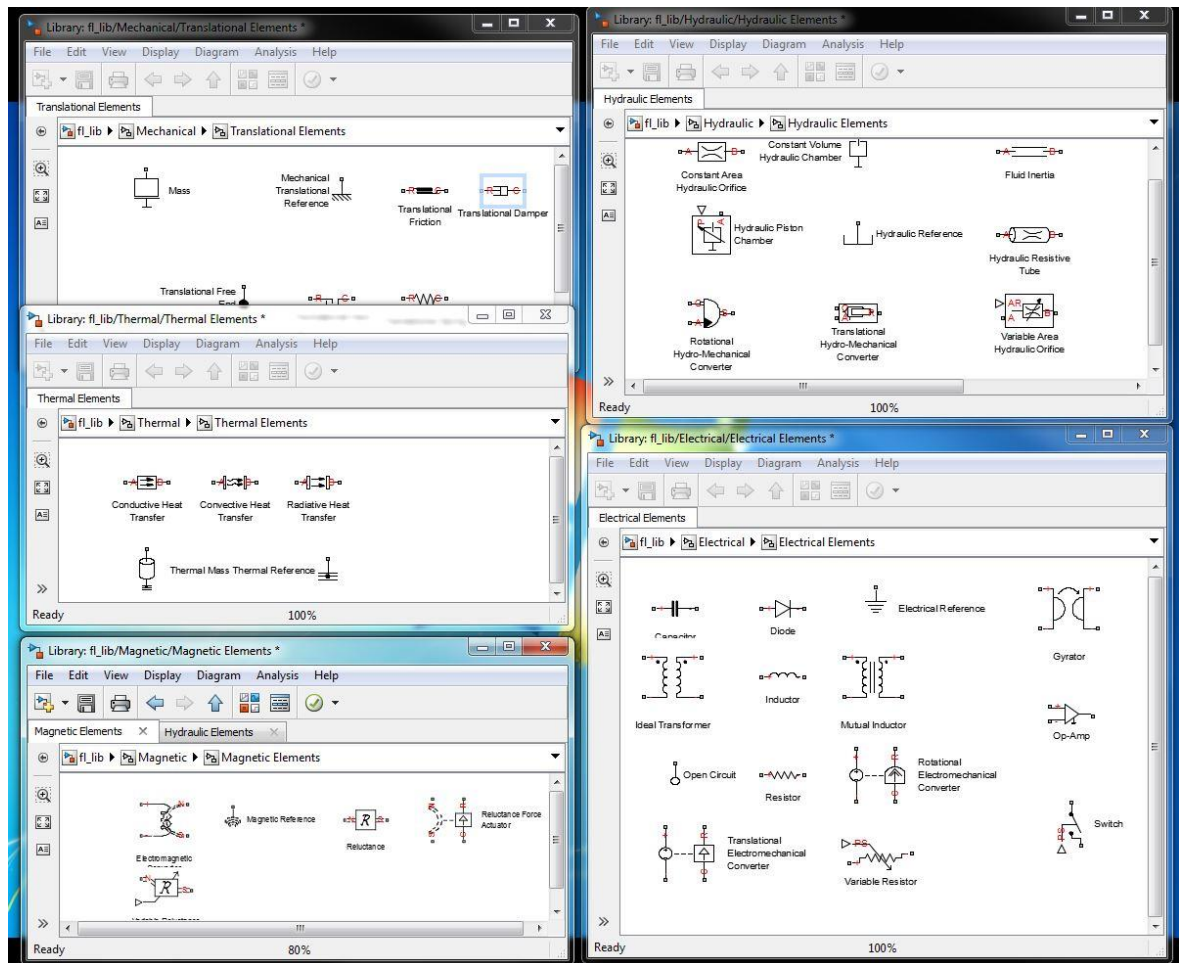
Simscape poskytuje stavební bloky pro modelování a simulaci tepelných procesů v systému. Je možné modelovat různé druhy přenosu tepla. Použitím tepelných bloků je možné zadat teplotu, nebo přenos tepla. Při použití tepelných senzorů je možné měřit velikost přenášeného tepla nebo teplotní změny. [6]

3.3.5 Práce s fyzikálními signály

Modely mohou zahrnovat fyzikální signály s různými jednotkami. Pokud jsou zadány jednotky a hodnoty parametrů přímo do dialogových oken v blocích, Simscape provede potřebné převody, při řešení fyzické struktury. Bloky v knihovně Physical Signals umožňují provádět různé matematické operace se signály. Je také možné zadat rovnice uvnitř sítě. Porty fyzikálních signálů slouží v blokových schématech k lepšímu začlenění signálů do systému. Zvyšuje se tak výpočetní rychlost.

Pomocí prvků obsažených v knihovně je možné vytvořit složitější komponenty pokrývající různé fyzikální domény.

Výstupní signály z bloků, sloužících jako snímače různých fyzikálních veličin, lze převést do standardních Simulink bloků. Výstup simulace je pak možný zobrazit ve formě grafu pomocí bloku Scope. [6]



Obr. č. 5 – Ukázka Simscape bloků

3.4 Jazyk Simscape

Objektově orientovaný modelovací jazyk Simscape je založen na programovacím jazyku Matlab. Modulárnost jazyka umožňuje přidávat nové systémy, a vytvořit tak vlastní fyzikální model pomocí komponentů z knihoven. Matlab lze použít pro předběžnou analýzu hodnot parametrů, provádět předběžné výpočty a inicializaci systémových proměnných. Vytvořené modely mohou být použity v dalších (větších) modelech. Knihovny Simulinku je možné editovat a přidávat nové vytvořené modely. Existuje zde možnost vytvářet C kód.

Použitím jazyka Simscape se simulují stejné účinky, jaké jsou zachyceny na reálných modelech. Tento přístup umožňuje vyvážit kompromis mezi věrností reálného modelu a jeho simulací. [6]

3.5 Převod Simscape do C kódu

Rozšíření Simulink Coder slouží k převedení Simscape kódu do kódu jazyka C s následujícími možnostmi:

- Spustit vlastní model v reálném čase, což dovoluje provádět HIL testování.
- Převod modelu do jiných simulačních prostředků.
- Sestavení vlastního modelu Simscape pro samotné simulace, které zrychlují analýzy, jako jsou studie parametrů. [6]

3.5.1 HIL testování

HIL testování je testování modelu pomocí simulace, což je výhodnější pro výrobu, než se například daný výrobek, nebo nový stroj nasadí do reálného provozu. Předjde se tak možným kolizím. Zvláštní podmínky, které odůvodňují použití HIL simulace, jsou následující:

- Zlepšení kvality testování
- Plány a vývoj
- Vysoká míra testování
- Snižování nákladů
- Zkrácení vývojového cyklu

[6, 7]

3.6 Fyzikální jednotky v Simscape

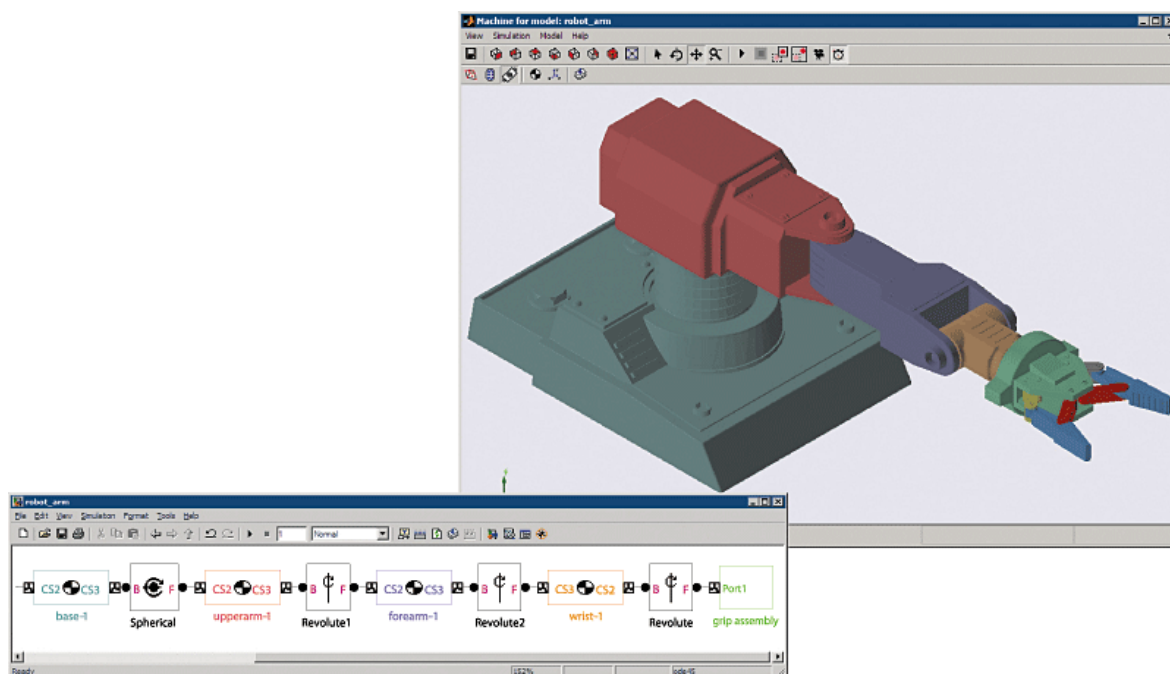
Na rozdíl od Simulink signálů, které jsou v podstatě bez jednotek, zavádí Simscape fyzické signály, které jsou spojeny s hodnotou a jednotkou. Přehled jednotek a jejich označení v Simscape je uveden v příloze (P I). Jednotky jsou v blocích předvyplněné a jednotka, nebo její násobek se volí z vyskakovacího seznamu. Hodnoty daných veličin se pro přehlednost a snadnou a rychlou změnu píšou do Matlab skriptů. Proto je vhodné pro přehlednost psát do skriptu použité jednotky za danou hodnotu ve formě komentáře. [8]

4 SIMMECHANICS

Jedná se o další rozšíření Simulinku, vytvořené speciálně pro modelování MBS pro složité trojrozměrné soustavy, jako jsou roboti, vozidla, stavební stroje, letadla a další. Místo odvozování a zápisu rovnic, je možné využít tento simulační nástroj ke stavbě modelů složených těles z kloubů, pohybových šroubů, tlumičů, pružin, senzorů, akčních členů a působících sil, které odrážejí strukturu modelované soustavy.

SimMechanics obsahuje knihovny bloků odpovídající reálným částem mechanismů. Spojením těchto bloků je pak automaticky vytvořen matematický model pro Simulink.

Pomocí bloků lze velmi snadno vytvářet grafické reprezentace složitých mechanických soustav, spojovat je s okolním prostředím a řídicími systémy. Lze tak simulovat vzájemné působení mechanických částí a jejich řídicích jednotek, vliv celé soustavy na okolní prostředí a naopak. SimMechanics nabízí kinematickou a přímou i zpětnou dynamickou analýzu mechanických systémů. Vestavěná 3D animace umožňuje zobrazit dynamiku systémů. Existuje možnost importování kompletních modelů s definovanou hmotností, momentem setrvačnosti, omezeními a 3D geometrií z několika CAD systémů. [9, 10, 11] Ukázka importovaného modelu je na Obr. č. 6.



Obr. č. 6 – Ukázka modelování v SimMechanics [11]

4.1 Klíčové vlastnosti

- Bloky pro modelování konstrukce pro simulaci a analýzu 3D mechanických systémů v Simulinku.
- Definice tuhého tělesa pomocí standartní geometrie a vlastních profilů definovaných v Matlabu.
- Automatický výpočet hmotnosti a setrvačnosti.
- Simulace režimů pro analýzu pohybu a výpočet síly.
- Vizualizace a animace těles systémové dynamiky s 3D geometrií.
- Nástroj poskytující propojení s různými CAD platformami.
- Podpora pro C – generování kódu. [10]

4.2 Modelování soustav těles

SimMechanics umožňuje vytvářet vlastní knihovny komponentů, které mohou být znovu použity v mnoha různých provedeních. Definovat těleso lze pomocí jeho hmotnosti, setrvačnosti a propojení. Složité geometrické tvary se mohou sestavit ze sady jednoduchých geometrických těles, jako je koule, válec, nebo lišta. Základní geometrická tělesa jsou definována v Matlabu. SimMechanics vypočítá jejich výslednou hmotnost a setrvačnost automaticky.

Propojení těles pomocí kloubů a vazeb definuje stupně volnosti povolené mezi tělesy v systému a určuje, jak se systém může pohybovat. Pro rozpohybování systému je možné definovat a připojit akční členy. Ovládání spojů s elektrickým, hydraulickým, pneumatickým nebo jiným fyzikálním systémem modelovaným pomocí Simscape umožňuje modelovat celé multioborové fyzikální systémy v rámci jednoho prostředí.

Pomocí bloků je možné měřit velikost síly, krouticího momentu a rychlosti. Informaci z měření lze předat zpět do řídicího systému v Simulinku. Pohyb, síla a další výsledky vypočtené v Simulinku lze použít k ovládní mechanického systému. [10]

4.3 Importování modelů z CAD systémů

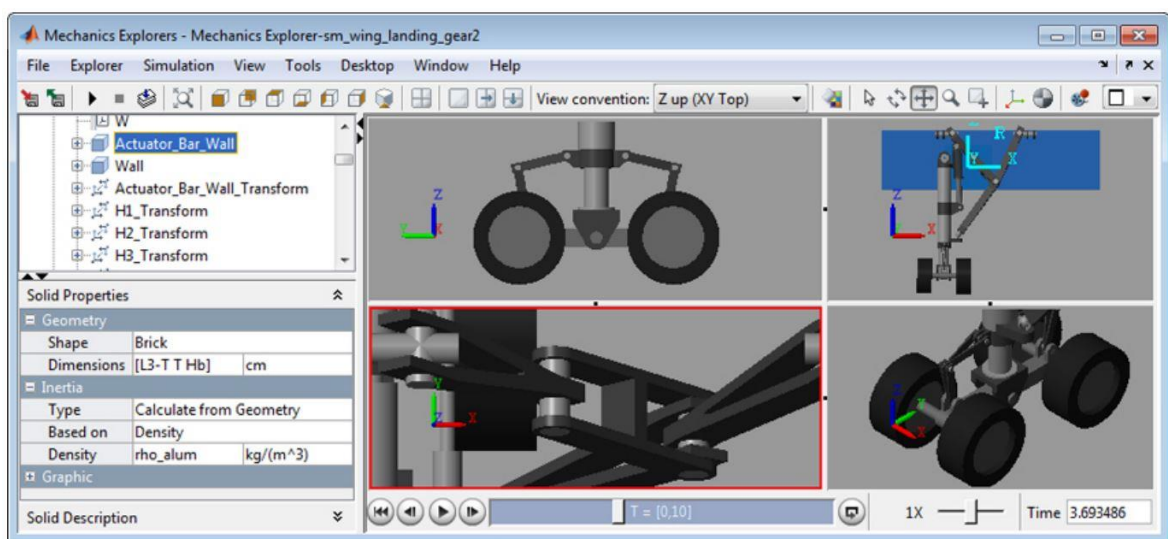
Modely nebo celé sestavy se importují do SimMechanics pomocí SimMechanics Link. Hmotnost a setrvačnost každé části sestavy je importována jako tuhé těleso. Geometrie je uložena do speciálního souboru, který je propojen s tělesem v SimMechanics. Definice vazeb z CAD jsou importovány jako klouby v modelu SimMechanics.

Pro modely z programů SolidWorks, Pro/ENGINEER a Autodesk Inventor je možnost nainstalovat plug-in, který umožňuje vytvořený model uložit jako XML soubor. Ten lze importovat a přímo použít v SimMechanics jako je zobrazeno na Obr. č. 6. [10]

4.4 Simulace modelů

Rozšíření SimMechanics poskytuje specializované technologické výpočty pro simulaci MBS (soustava tuhých těles propojených vazbami) a pro provádění různých druhů analýz. Zadáním síly a momentů dosáhneme zobrazení výsledného pohybu. Lze také zadat výsledný pohyb a vypočítat tak potřebnou sílu a moment, který je potřebný k rozpohybování modelu.

SimMechanics automaticky vytvoří 3D vizualizaci všech objektů v modelu viz Obr. č. 7. Během simulace se spustí animace zobrazující pohyb systému s možností opakovaného přehrávání nebo uložení do souboru. Pro lepší přehlednost je vhodné nastavit barvu, průhlednost a další vizuální vlastnosti těles, nebo zobrazit vytvořený model ve více pohledech současně. [10]



Obr. č. 7 – Ukázka animace 3D modelu [11]

4.5 Využití ve výuce

SimMechanics může pomoci k pochopení teorie, která souvisí s chováním systému. Animace ukazující pohyb v systému, poskytují studentům lepší pochopení fyzikálních zákonů. Například pozorování vlivu tření na mechanický systém.

Simulace modelu může povzbudit studenty k vyzkoušení nového návrhu modelu, nebo jim může umožnit použití návrhu v oblasti výzkumných projektů a studentských soutěží.

SimMechanics je používán v mnoha průmyslových odvětvích. Studenti se zkušenostmi s prací v simulačních nástrojích Matlabu, jsou více žádáni ze strany zaměstnavatelů. [10]

5 SIMELECTRONICS

SimElectronics rozšiřuje Simscape o další nástroje sloužící pro modelování a simulaci elektronických a elektromechanických systémů. Toolbox obsahuje elektromechanické prvky (např. modely motorů, pohonů a servopohonů) a analogovou elektroniku (např. diody, tranzistory, operační zesilovače). [12]

Komponenty slouží pro rozvoj elektromechanických ovládacích systémů a k vyhodnocování analogové obvodové architektury v Simulinku.

Modely se používají k vývoji řídicích algoritmů v elektronických a mechatronických systémech, včetně veškeré automobilové elektroniky, servomechanizmů letadel a audio výkonových zesilovačů. Polovodičové modely zahrnují nelinearitu a dynamické teplotní účinky, což umožňuje vybrat komponenty v zesilovačích, AD převodnících, fázových závěsech a dalších obvodech. Parametry modelů se mohou nastavit pomocí Matlab proměnných a výrazů. Do modelu lze přidat mechanické, hydraulické, pneumatické a další komponenty, které obsahuje Simscape a nebo jeho rozšíření. [13]

5.1 Klíčové vlastnosti

- Knihovny elektronických a elektromechanických komponentů, včetně polovodičů, snímačů a pohonů.
- možnost parametrizace klíčových hodnot parametrů, které jsou zadány přímo z průmyslových datových listů.
- Schopnost rozšířit knihovnu Simscape.
- Podpora pro C – generování kódu.

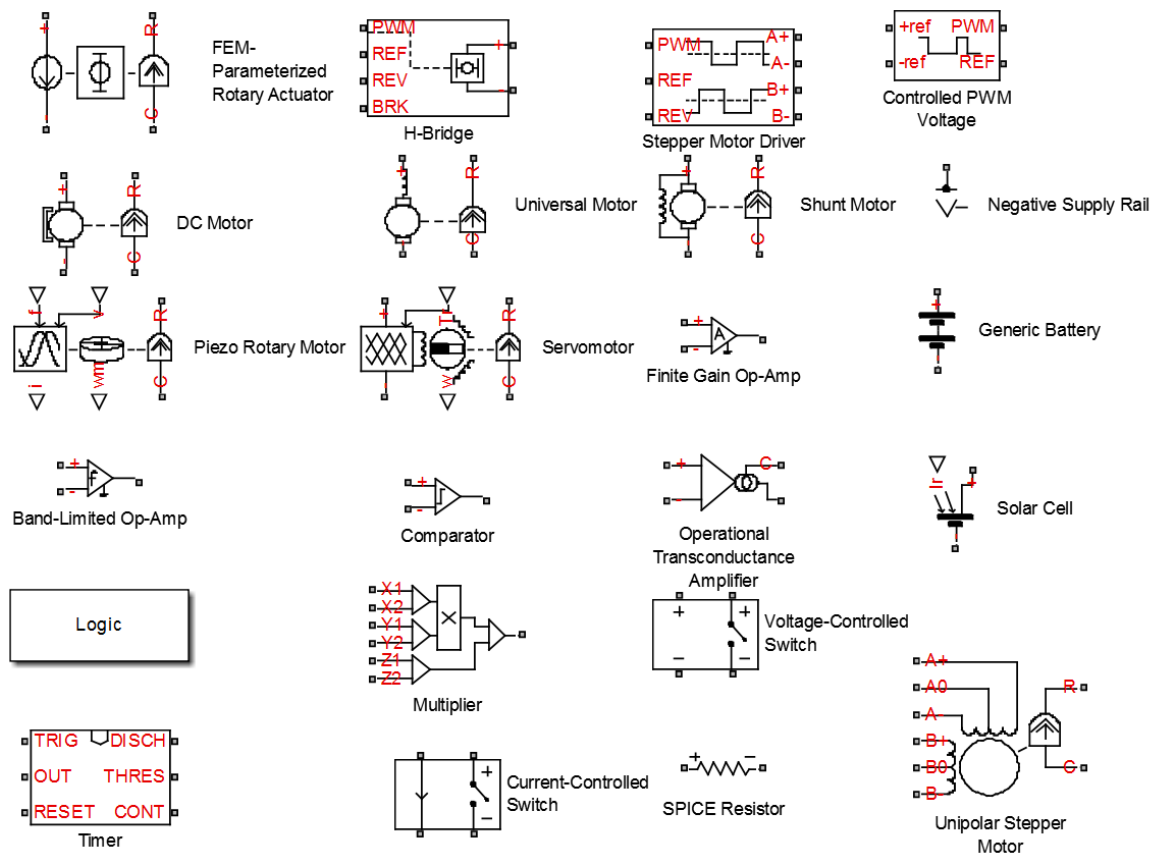
Vytvořené modely mohou podpořit celý proces vývoje, včetně HIL simulace. [13]

5.2 Modelování mechatronických systémů

SimElectronics poskytuje knihovny motorů, pohonů, ovládacích prvků a snímačů. K modelu se mohou připojit komponenty, jako jsou H – můstky, servomotory a potenciometry. Ukázka bloků je zobrazena na Obr. č. 8. Vytvořené modely lze rozdělit do jednotlivých subsystémů. Díky tomu lze vytvářet knihovny mechatronických součástí, které se například používají v robotice, nebo k ovládní letadel a aktivních systémů vozidel.

Mnoho z bloků v SimElectronics umožňuje nastavit úroveň, jak moc má být vytvořený model podobný reálnému modelu. Zde se mohou zahrnout nebo naopak opomíjet některé jevy, jako je například chování součástky v závislosti na teplotě. U systémů s využitím PWM je možnost nastavení simulačního módu na Averaged pro rychlejší simulaci a zobrazení účinků modulace po zapnutí systému.

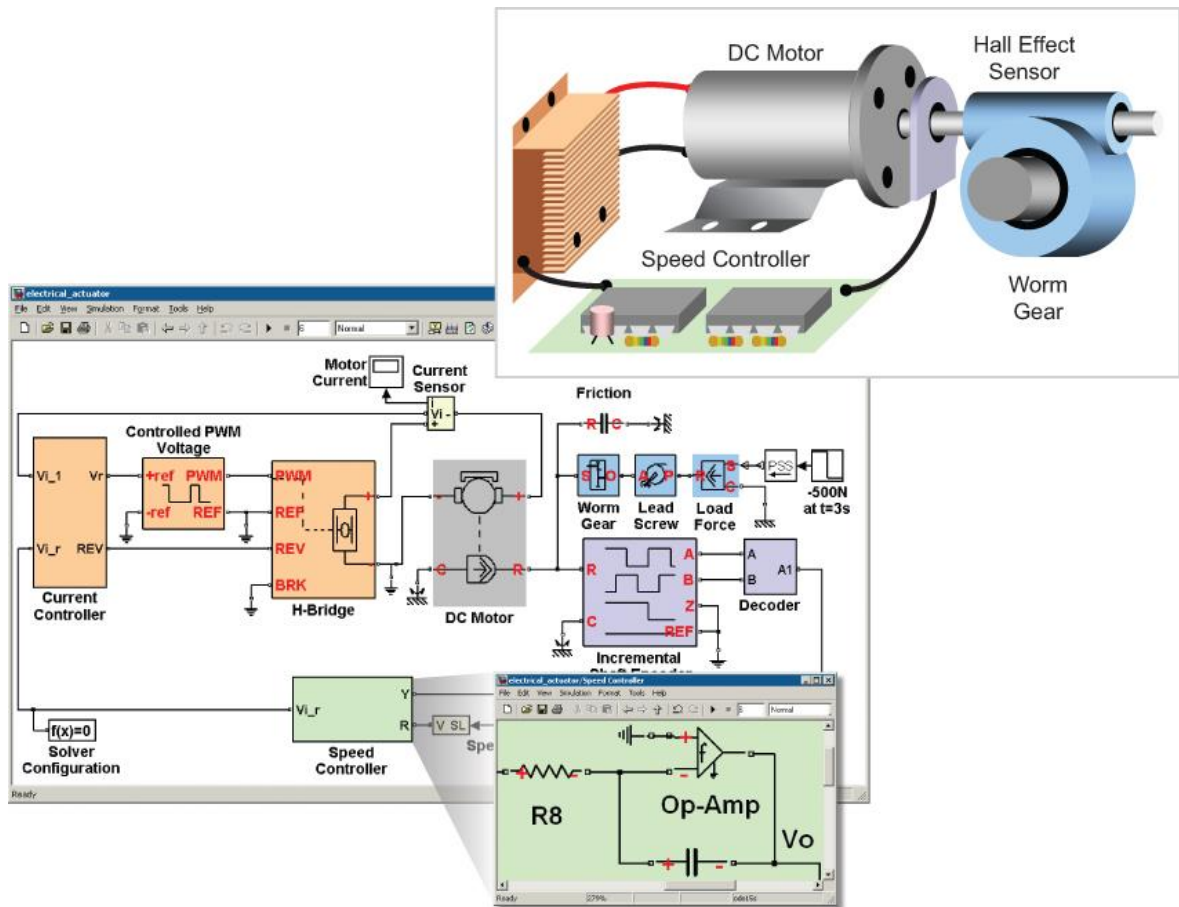
Pro určení reálných hodnot parametrů jsou k dispozici různé metody parametrizace. Hodnoty se dají přečíst přímo z přednastavených oken v jednotlivých blocích, nebo se dají přiřadit pomocí odpovídajícího obvodu. [13]



Obr. č. 8 – Ukázka bloků v SimElectronics

5.3 Modelování elektrických systémů

SimElectronics obsahuje knihovny polovodičů, integrovaných obvodů a další pasivní zařízení s možností připojení tranzistorů, diod, operačních zesilovačů a dalších elektronických součástek pro modelování elektrických systémů. Vytvořené modely mohou být seskupeny do subsystémů a opakovaně použity viz Obr. č. 9. Elektronické systémy spolu s řídicími systémy modelované v prostředí Simulink umožňují kombinovat digitální a analogové ovládání.



Obr. č. 9 – Ukázka modelování v SimElectronics [12]

Kromě tradičních vstupů a výstupů nebo signálových toků používaných v Simulinku nabízí elektronické součástky v SimElectronics používat připojení s obousměrným tokem energie v obou směrech. Modely elektronických systémů, které jsou postavené na použití fyzických spojení, se více podobají elektronickým obvodům a jsou srozumitelnější.

Model tranzistoru v SimElectronics zahrnuje vlastnosti jako nelinearitu a vysokofrekvenční dynamiku. Tyto účinky jsou poté zachyceny na simulaci. Mnoho prvků v SimElectronics umožňuje určit chování v závislosti na teplotě s možností implementace přenosu tepla přímo do namodelovaného systému.

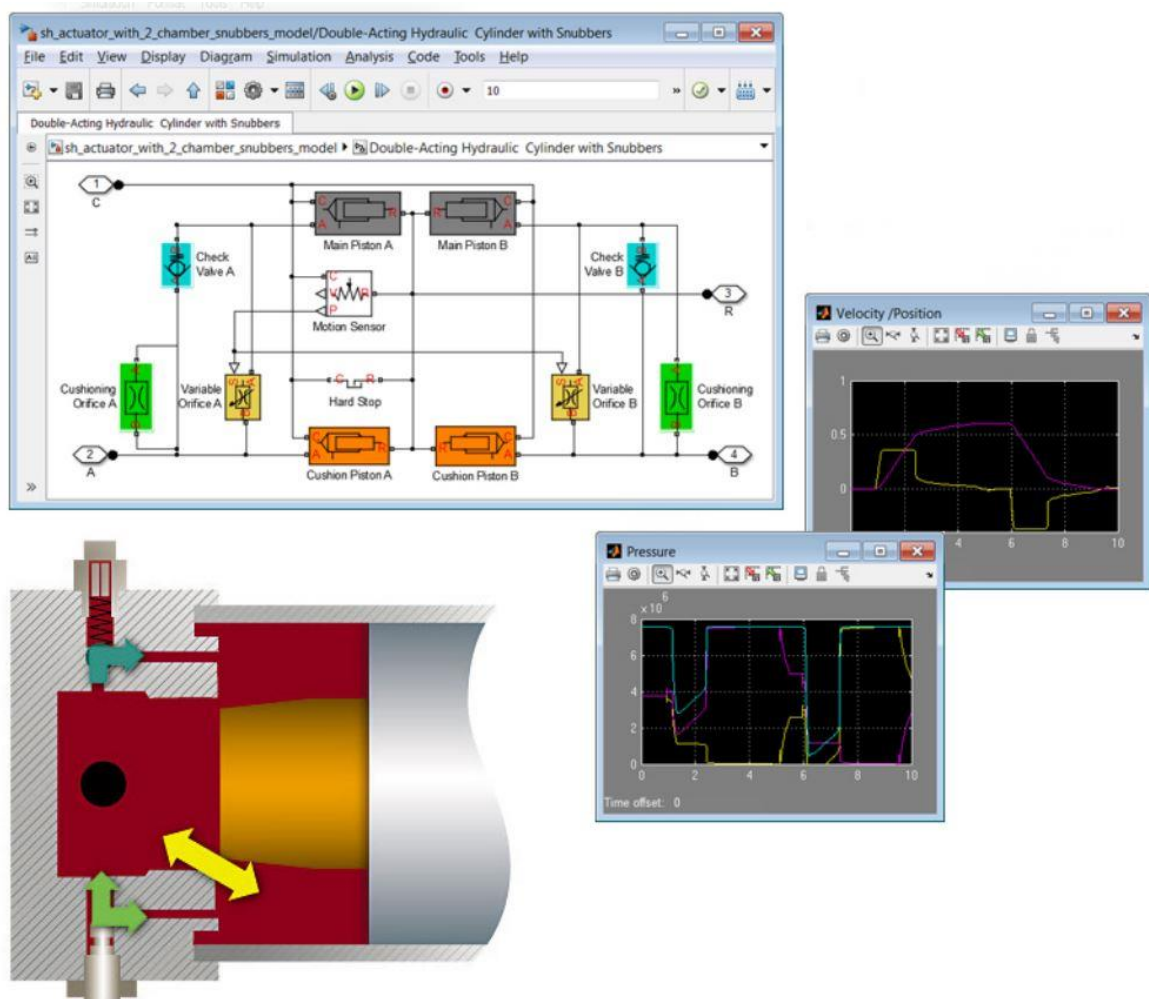
Pro určení reálných hodnot parametrů jsou k dispozici různé metody parametrizace. Hodnoty parametrů se dají načíst přímo z katalogových listů, které poskytuje výrobce elektronických součástek. [13]

6 SIMHYDRAULICS

SimHydraulics je nástroj, který rozšiřuje Simscape o další prostředky k modelování a simulaci hydraulických systémů. Opět je tu možnost modelování multi – domain systémů obsahujících propojení hydraulických a mechanických komponent s použitím přímé analogie s reálnými prvky. Základní prvky rozšíření SimHydraulics jsou čerpadla, ventily, akumulátory, potrubí a další. Z nich se modelují hydraulické systémy, jako jsou například nakladače, posilovače řízení, ovládání podvozků, systémy pro přívod paliva a další.

SimHydraulics společně s produkty Simscape, SimMechanics, SimDriveline a SimElectronics umožňuje modelování složitých jevů ve vzájemně propojených hydromechanických a hydroelektrických systémech. [14]

Vytvořené modely se používají k vývoji řídicích systémů, k výkonovým zkouškám, a mohou být spuštěny v jiných simulačních prostředích, včetně HIL systémů. [15]



Obr. č. 10 – Ukázka modelu v SimHydraulics – hydraulický válec s tlumičem [14]

6.1 Klíčové vlastnosti

SimHydraulics obsahuje:

- modely odstředivých, proudových a axiálně pístových čerpadel
- řídicí modely ventilů, včetně zpětných ventilů a běžných konfigurací pro 2, 4, a 6 – ti cestné ventily
- modely průtokového ventilu pro regulaci tlaku, včetně ventilů s koulí, nebo kuželkou.
- translační a rotační modely pohonů, včetně volitelného tření a odstředivých sil
- nádrže a potrubí s výškovými efekty pro modelování dopravních systémů tekutin
- přizpůsobitelné knihovny běžných hydraulických kapalin [15]

6.2 Modelování hydraulické a hydromechanické sítě

Model systému se staví podobně jako stavba fyzikálního systému. Symboly použité v modelu, jsou založeny na značení podle normy ISO 1219 (grafické značení hydraulických a pneumatických schémat). V SimHydraulics se opět modeluje pomocí bloků odpovídajícím fyzickým prvkům (např. čerpadla, motory a ventily). Spojnice mezi bloky reprezentují skutečné vazby přenášející energii. Ukázka je na Obr. č. 10. Tento přístup umožní popsat fyzikální strukturu systému jednodušeji, než popisem pomocí matematického modelu.

Vytvořený model se již velmi podobá hydraulickému schématu. Následně se z vytvořeného modelu automaticky vytvoří rovnice, jež charakterizují chování systému.

V SimHydraulics jsou zastoupeny téměř všechny komponenty použité v reálných hydraulických systémech. Ukázka některých bloků je na Obr. č. 11.

Pomocí senzorů vložených z prostředí Simulink se dají snadno měřit všechny hydromechanické veličiny (např. tlak, průtok, poloha, rychlost a síla). Výstupem pak může být závislost měřené veličiny na čase. [15]

6.3 Modelování hydraulických komponent

Rozšíření SimHydraulics obsahuje dva typy potrubí:

- Bloky se standartním plynovodním potrubím s kruhovými a nekruhovými průřezy, které zahrnuje třecí a tlakové ztráty a jejich stlačitelnost.

- Bloky segmentovaného potrubí, které zahrnují třecí, tlakové ztráty, stlačitelnost a setrvačnost.

Knihovna bloků je navržena i na změny odporu, umožňuje zahrnout tlakové ztráty spojené s ohyby, koleny a změny průřezů v oblasti změny průtoku.

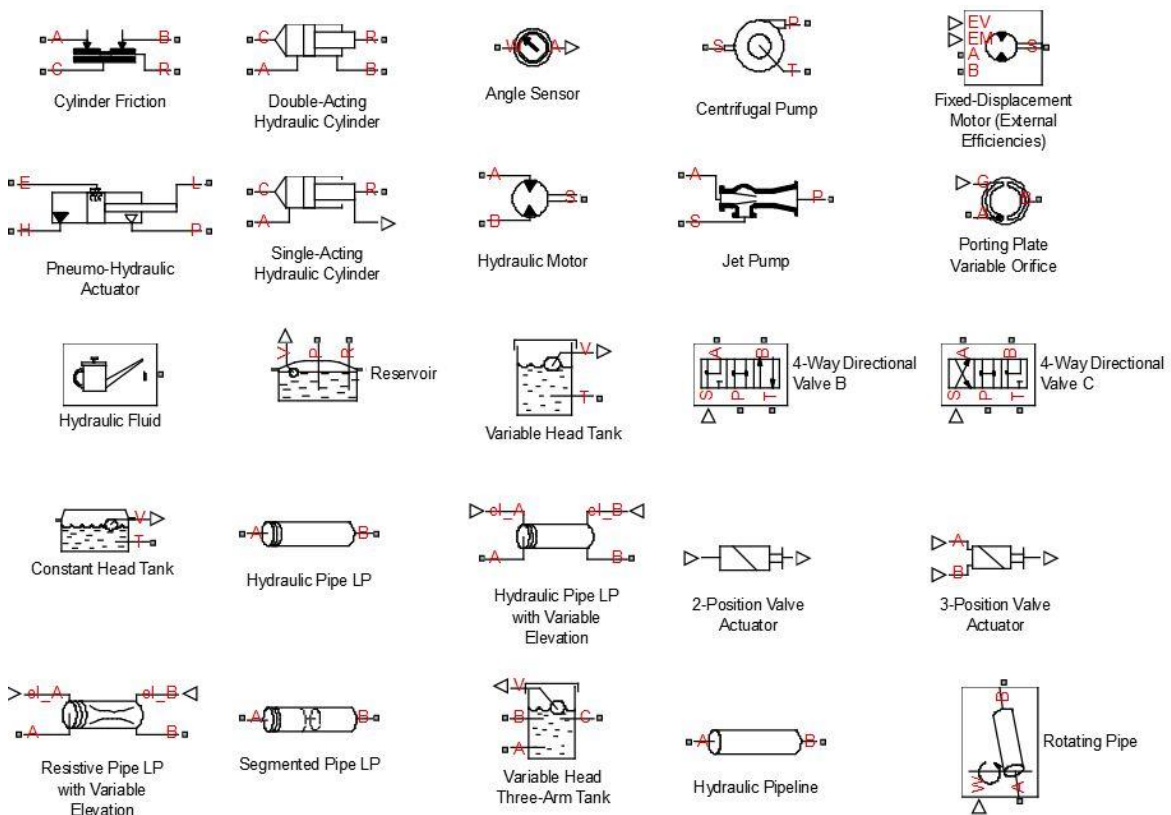
SimHydraulics poskytuje pohony a čerpadla, které umožňují:

- Modely hydraulických válců a rotačních akčních členů, včetně účinků jako je tření
- Modely hydraulických motorů, objemová čerpadla s pevným a proměnlivým průtokem, s kompenzací tlaku pomocí změny mechanických komponent

Knihovna ventilů nabízí:

- Cestné ventily, včetně 2, 3, 4 – cestných ventilů, kontrolu ovládané změny ventilu
- Ventily na ovládání průtoku, včetně koule, jehly a kuželky
- Ventily k řízení tlaku, včetně redukčních typů pro vyrovnání tlaku

Knihovna ventilů také obsahuje modely pro simulaci elektromagnetických, diskretních a proporcionálních pohonů, a servoventily. [15]



Obr. č. 11 – Ukázka bloků v SimHydraulics

6.4 Definování vlastností tekutin

SimHydraulics využívá metody pro stanovení hustoty, viskozity a objemového modulu. Tyto vlastnosti tekutin mají vliv na chování hydraulického systému.

SimHydraulics poskytuje běžně používané hydraulické kapaliny, jako je například Skydrol LD-4, HyJet 4A, a Fluid MIL-F-83828. Vlastnosti zmíněných kapalin se automaticky vypočítají ze vstupní teploty a množství zachyceného vzduchu. Tekutiny je také možné definovat zadáním jejich vlastností. [15]

7 INFORMACE O SIMSCAPE V ČEŠTINĚ

7.1 Zdroje na internetu

O Simscape a jeho rozšíření jsou na internetu pouze zmínky. Na stránkách firmy Humusoft s.r.o, která je oficiální distributor produktů společnosti MathWorks v České republice a na Slovensku, se vyskytuje základní popis Simscape a jeho rozšíření. Autor se na konci článku odkazuje na společnost MathWorks, která vytvořila software Matlab a všechna jeho rozšíření. [5]

Další zmínka o Simscape je z časopisu AT&P (druhé číslo z roku 2008). Tento článek je o fyzikálním modelování v Simscape. Jako příklad je uvedena počítačová simulace elektromotoru. Autorem článku je firma Humusoft. [16]

Poslední článek na internetu věnující se Simscape je z časopisu AUTOMA (číslo 8-9 z roku 2008). Jako příklad je uvedena elektromechanická soustava. Pomocí SimMechanics zde autor vytváří pákový mechanismus křídélka s ovládním pomocí hydraulického válce. Toto křídélko slouží k ovládní letadla za letu. Křídélko je připojeno ke zjednodušenému modelu akčního členu s PI regulátorem. Autorem článku je opět společnost Humusoft. [17]

Firma Humusoft s.r.o pořádá zajímavé semináře pro firmy a školy. Na přednáškách využívá program Matlab a ukazuje i reálné modely, které se ovládají pomocí řídicí karty a Matlabu.

7.2 Kniha o SimMechanics

Modelování mechatronických systémů v Matlab SimMechanics je název jediné české knihy od autora Roberta Grepla. Tato kniha se zabývá modelováním v rozšíření SimMechanics. Na začátku knihy je motivační článek, proč zrovna používat SimMechanics. Autor zde odvozuje složitým způsobem pohybové rovnice dvojitěho kyvadla, aby poté mohl daný model vytvořit v Simulinku. Poté stejný model vytváří pomocí SimMechanics, kde pouze stačí zadat polohu propojovacích bodů a hmotnost těles. V první části knihy se autor věnuje teorii modelování, jako je prostorová kinematika a dynamika MBS. Poté popisuje modelování v SimMechanics. Na vybraných modelech demonstruje použití správných bloků na určité druhy pohybů. Na konci knihy je na konkrétních úlohách kinematiky a dynamiky ukázka chování většiny bloků v SimMechanics. [9]

8 VYUŽITÍ SIMSCAPE V AUTOMATIZACI A TEORII SYSTÉMŮ

8.1 Vybraná témata z předmětu automatizace

8.1.1 Matematické modelování dynamických systémů.

Kapitola popisuje chování statických systémů, kdy se posuzují vlastnosti regulačních členů v ustáleném stavu a dynamických systémů, kdy se vlastnosti posuzují při změnách vstupních a výstupních veličin. Při výkladu kapitoly Matematické modelování dynamických systémů by mohl být využit manuál, který je vytvořen v této práci v kap. 9.

8.1.2 Statická charakteristika

Statická charakteristika je ustálená závislost dvou veličin. Pro lepší představu by bylo vhodné výklad obohatit názornou ukázkou některého vypracovaného modelu viz kap. 11.1 Model dvoucestného ventilu (závislost otevření ventilu na poloze pístu).

8.1.3 Analýza lineárních spojitých dynamických systémů.

Tato kapitola se zabývá chováním systémů na určité vstupní signály. Impulsní funkce je odezva systému na jednotkový (Diracův) impuls. Přechodová funkce je odezva systému na jednotkový skok. Pomocí bloku Step je možné do některého z modelů zavést signál ve formě jednotkového skoku a pozorovat tak chování modelu. [18]

8.2 Vybraná témata z předmětu Teorie systémů

8.2.1 Stabilita LSDS

Stabilita dynamického systému je schopnost systému vrátit se po vychýlení z rovnovážného stavu zpět do původního stavu. Jako stabilní systém lze uvést všechny modely vytvořené v této práci, kromě modelu dvojitého kyvadla, který je nestabilní.

8.2.2 Polynomiální metoda návrhu regulátorů

Kapitola se věnuje návrhu regulátorů u 1DOF a 2DOF systémů. Názorná ukáзка 1DOF systému je fyzikální kyvadlo vytvořené v této práci. Pro ukázkou 2DOF systému je možné použít model dvojitého kyvadla. [19]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

9 MANUÁL PRO ZÁKLADNÍ PRÁCI SE SIMSCAPE

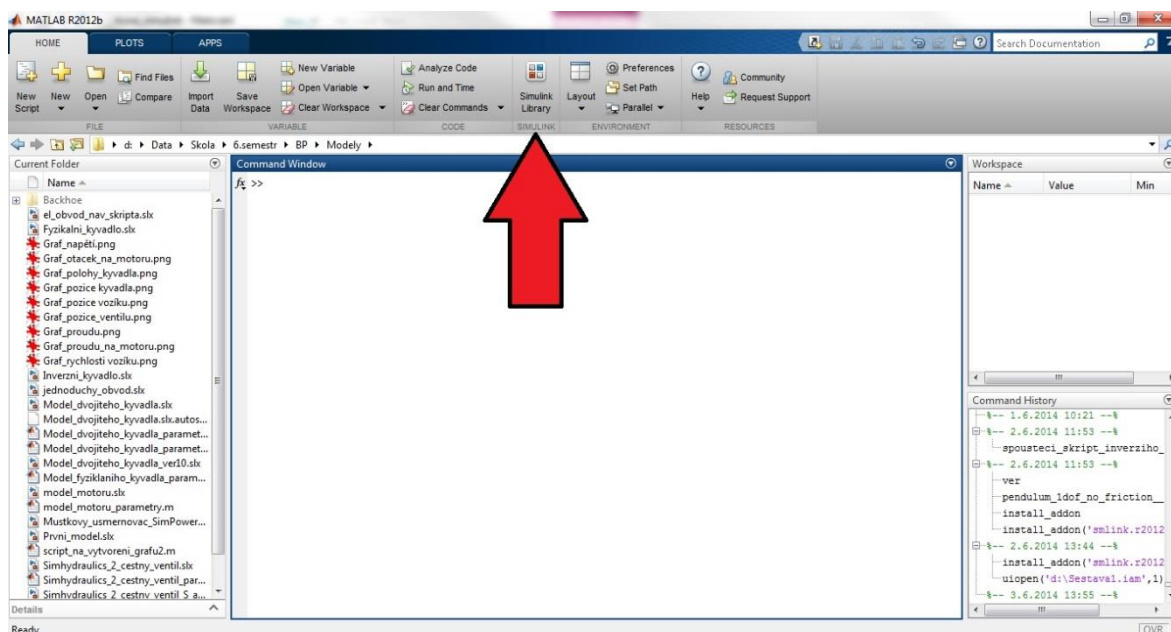
Následující manuál je především určen studentům Fakulty aplikované informatiky ve Zlíně, oboru Informační a řídicí technologie v předmětech Automatizace, Teorie systému a popřípadě i v předmětu Matlab a Simulink. Předpokládá se základní znalost práce s programem Matlab a Simulink, jakékoliv znalosti o modelování jsou výhodou.

Cílem manuálu – příručky je být pomocným, doplňujícím a rozšiřujícím materiálem pro studenty, kteří si potřebují osvojit základy v práci v programu Simescape (nastavba programu Simulink).

Text seznámí studenty nejprve se základní obsluhou programu Simescape, jeho spuštění a zorientování se v ovládacích prvcích. Nakonec bude na příkladech uvedeno, jak se takové modely vytvářejí a jakým způsobem lze s nimi pracovat.

9.1 Možnosti spuštění Simescape

Na začátku se musí spustit program Matlab. Po jeho spuštění se napíše do příkazového okna (Command Window) příkaz *simescape*. Otevře se nové okno, které slouží k hledání funkčních bloků. K blokům Simescape se lze dostat více způsoby. Jde o nastavbu Simulinku, proto lze použít příkaz *simulink*, nebo využít ikony Simulinku. Umístění spouštěcí ikony Simulinku je znázorněno červenou šipkou na Obr. č. 12.

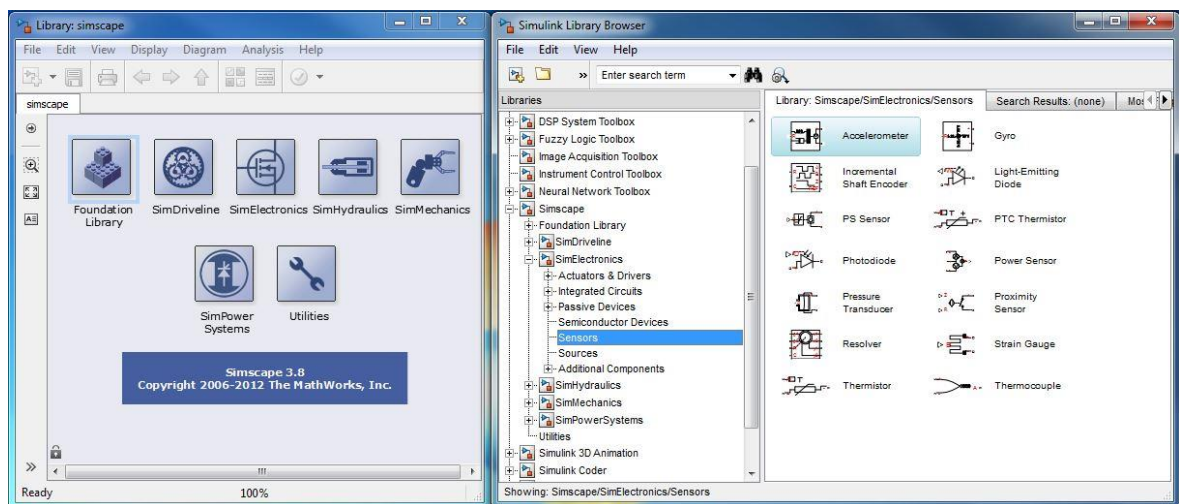


Obr. č. 12 – Umístění spouštěcí ikony Simulink

Pokud se spustí knihovna příkazem Simscape, je možné použít pouze bloky Simscape, popřípadě rozšiřující bloky z knihoven SimMechanics, SimHydraulics atd. Rozdíl bude také v zobrazení, viz Obr. č. 13. Nabídka bloků se bude měnit podle počtu nainstalovaných rozšíření. Základní bloky Simscape se nachází ve Foundation Library (základní knihovna).

Rozšíření SimMechanics se spustí příkazem *simmechanics*.

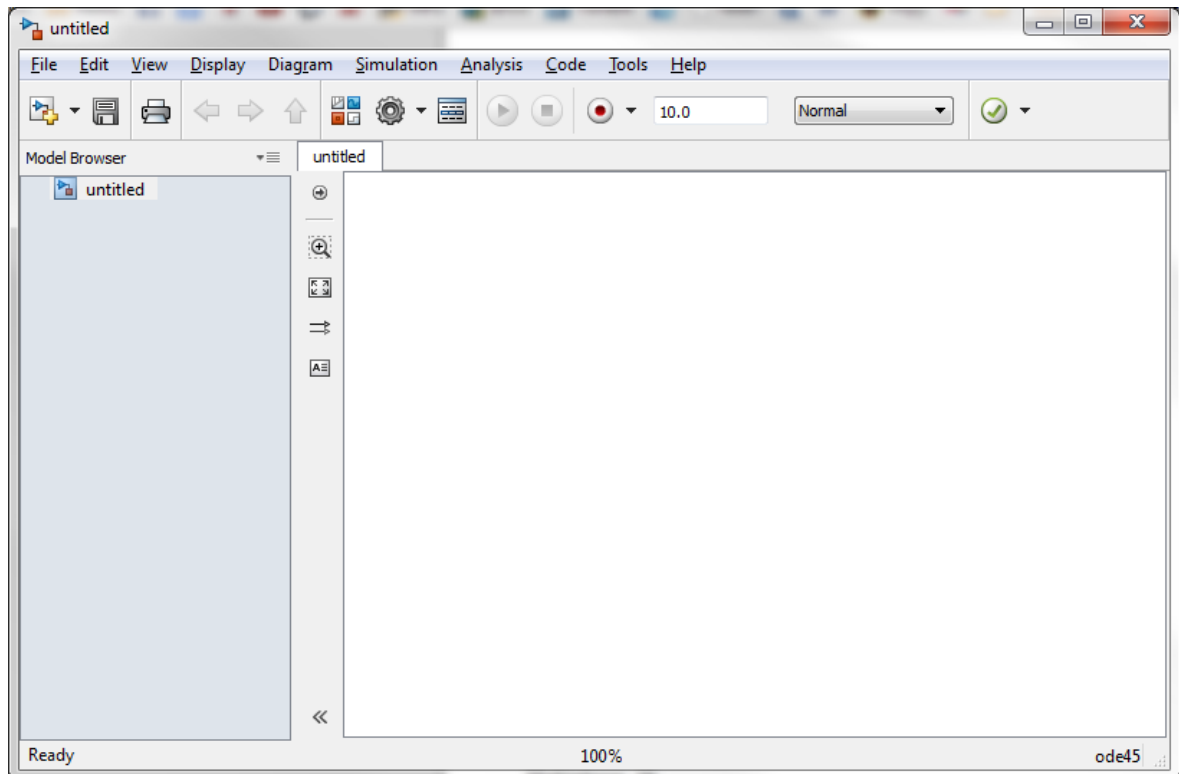
Protože ve většině případů jsou potřeba i bloky Simulinku, doporučuje se spouštět knihovnu příkazem *simulink*, nebo kliknutím na ikonu Simulink Library, která se nachází v horní liště Matlabu. Bloky v Simscape představují základní elementy z fyzikálních domén.



Obr. č. 13 – Ukázka spuštění Simscape (vlevo) a Simulink (vpravo)

Schémata se vytváří v grafickém prostředí. Pro jeho vytvoření je potřeba otevřít okno prostředí nebo-li vytvořit nový model.

V prohlížeči knihoven se klikne na volbu **File > New > Model**, čímž se otevře grafické prostředí pro tvorbu modelů, které je znázorněno na Obr. č. 14.



Obr. č. 14 – Grafické prostředí pro vytvoření nového modelu

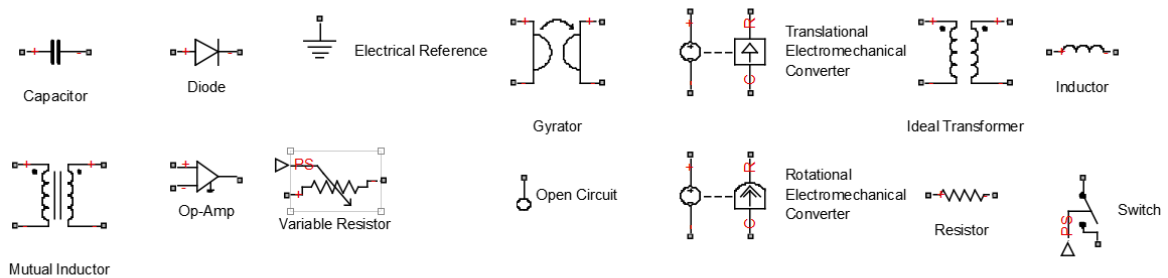
9.2 Hlavní bloky

Tato kapitola se věnuje stručnému popisu hlavních bloků v Simscape. Jednotlivé bloky z knihovny do okna modelu se umísťují přetažením myši. Dvojklikem na blok se zobrazí základní popis bloku s možností nastavení parametrů.

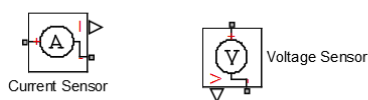
9.2.1 Elektrické komponenty

V první záložce knihovny jsou umístěny základní elektrické prvky, které mají podobné značení jako ve schématech elektrických obvodů. V druhé záložce se vykytují senzory sloužící k měření proudu a napětí. V poslední záložce se nachází elektrické zdroje pro stejnosměrný i střídavý elektrický proud. Všechny elektrické bloky jsou znázorněny na Obr. č. 15.

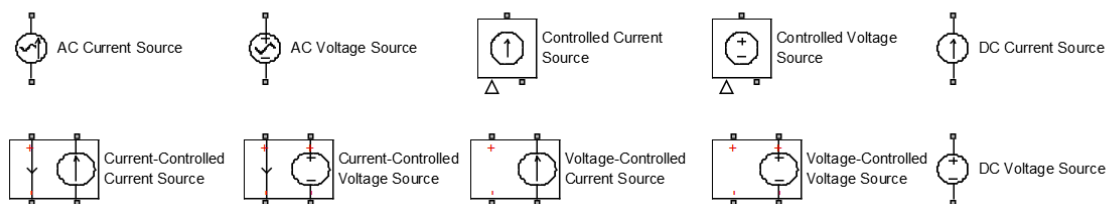
Základní elektrické komponenty



Ampérmetr a voltmetr



Zdroje elektrického napětí



Obr. č. 15 – Přehled elektrických bloků v Simscape

9.2.2 Hydraulické komponenty

Knihovna obsahuje komponenty potřebné k vytvoření simulace hydraulického zařízení a rozděluje se do čtyř kategorií.

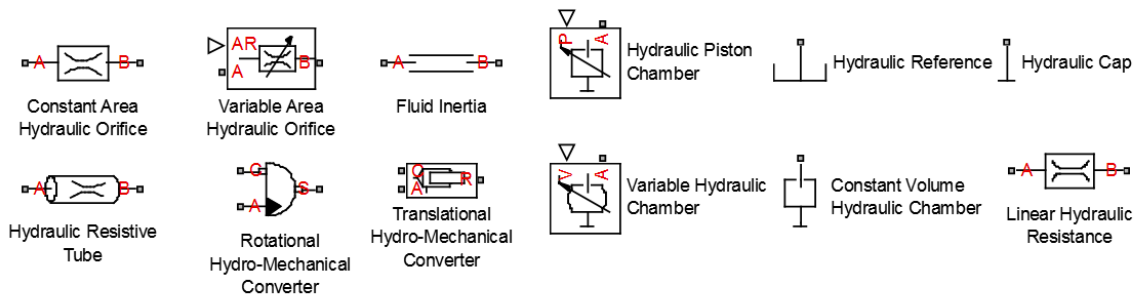
První kategorie obsahuje hydraulické komponenty - bloky simulující průtok s pevným nebo proměnlivým průřezem. Tyto bloky simulují jevy stlačitelnost, nebo hydraulický odpor. Další hydraulické komponenty jsou potrubí s různým průřezem a převodníky hydraulické energie na mechanickou.

Do druhé kategorie jsou zařazeny dva bloky. První slouží pro simulaci ideálního měřiče průtoku a druhý simuluje ideální snímač hydraulického tlaku.

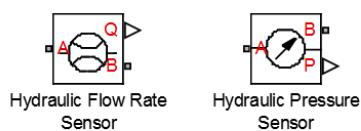
Třetí kategorie obsahuje komponenty sloužící pro simulaci hydraulických zařízení, kde potřebujeme ideální zdroje hydraulické energie se zadaným tlakem, nebo průtokem.

Poslední čtvrtá kategorie obsahuje jeden blok, pomocí kterého se definuje používaná hydraulická kapalina. Vlastnost tekutiny se definuje pomocí hustoty, kinematické viskozity, stlačitelnosti a relativního množství zachyceného ve vzduchu.

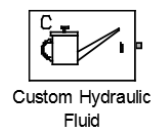
Hydraulické komponenty



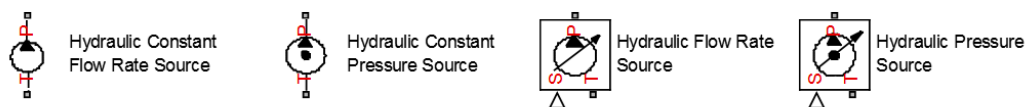
Měřiče tlaku a průtoku



Definování hydraulické kapaliny



Zdroje hydraulické energie



Obr. č. 16 – Přehled hydraulických bloků v Simscape

9.2.3 Mechanické komponenty

Poslední popisovaná knihovna bloků obsahuje bloky k tvorbě mechanických modelů. Je rozdělena do pěti kategorií.

První kategorie se skládá z bloků pro měření síly, otáček, momentu a mechanického translačního pohybu. Snímače pro měření neberou v úvahu setrvačnost, tření, zpoždění, spotřebu energie atd. proto se nazývají ideální.

Druhá kategorie představuje 3 mechanismy:

1. Mechanická převodovka s jedním parametrem = převodový poměr s dvěma rotačními porty = vstupní a výstupní.

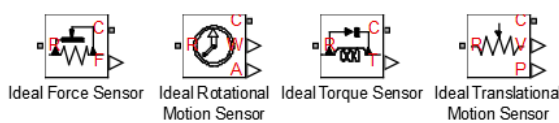
2. Mechanická páka s třemi translačními porty, které lze připojit k referenčnímu uzlu (zemi).
3. Ideální převodník mezi rotačním a translačním pohybem. Blok se používá jako volant, zvedací zařízení, naviják atd.

Třetí kategorií jsou mechanické zdroje. Kategorie obsahuje ideální zdroje úhlové rychlosti, síly, krouticího momentu a rychlosti. Zdroje jsou ideální svou schopností udržet velikost zadaného parametru bez ohledu na ostatní síly působící na daný blok.

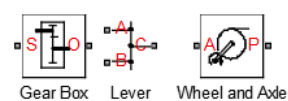
Do čtvrté kategorie se řadí bloky obsahující rotační komponenty a slouží k simulaci tření a setrvačnosti. Mezi rotační komponenty patří rotační tlumič, pružina a ukončující prvky, pomocí kterých lze bloky připojit k pevným nebo volně se otáčejícím bodům.

Pátou kategorií jsou translační komponenty. Bloky jsou velmi podobné předchozí kategorii. Hlavní rozdíl je v pohybu. Tyto bloky slouží k simulování posuvného pohybu. Opět jsou tu bloky jako hmota, tření, pružina a tlumič.

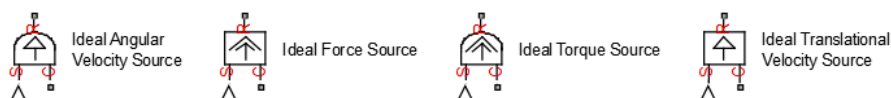
Mechanické snímače



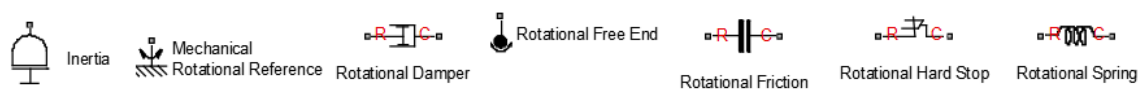
Mechanismy



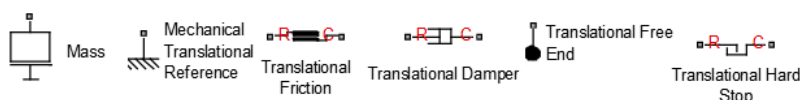
Mechanické zdroje



Rotační komponenty



Translační komponenty



Obr. č. 17 – Přehled mechanických bloků v Simscape

9.3 První model

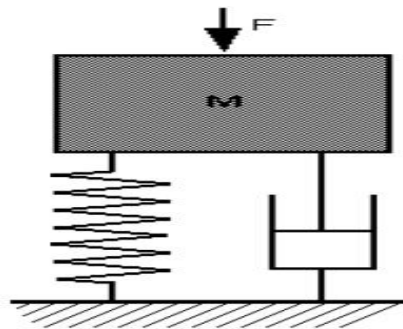
Při vytváření modelu je doporučený tento postup:

- Stanovení všech základních prvků, ze kterých se fyzikální model skládá

- Výběr bloků z knihovny a vložení do nového modelu.
- Spojení bloků podle toku energie.
- Nastavení řešitele v bloku Solver Configuration.
- Spojení se Simulinkem pomocí PS – S bloků.
- Zobrazení výstupů.
- Zkoumání modelu.

9.4 Model jednoduchého mechanického systému

Příklad popisuje modelování jednoduchého mechanického systému. Následující schéma na Obr. č. 18 představuje jednoduché odpružení u automobilu. Skládá se s pružiny, tlumiče a tělesa o určité hmotnosti, na které působí vnější síla. Při vytváření tohoto modelu se zanedbává působení gravitační síly.



Obr. č. 18 – Schéma vytvářené-
ného modelu [8]

Rovnice popisující model mechanického systému [20] :

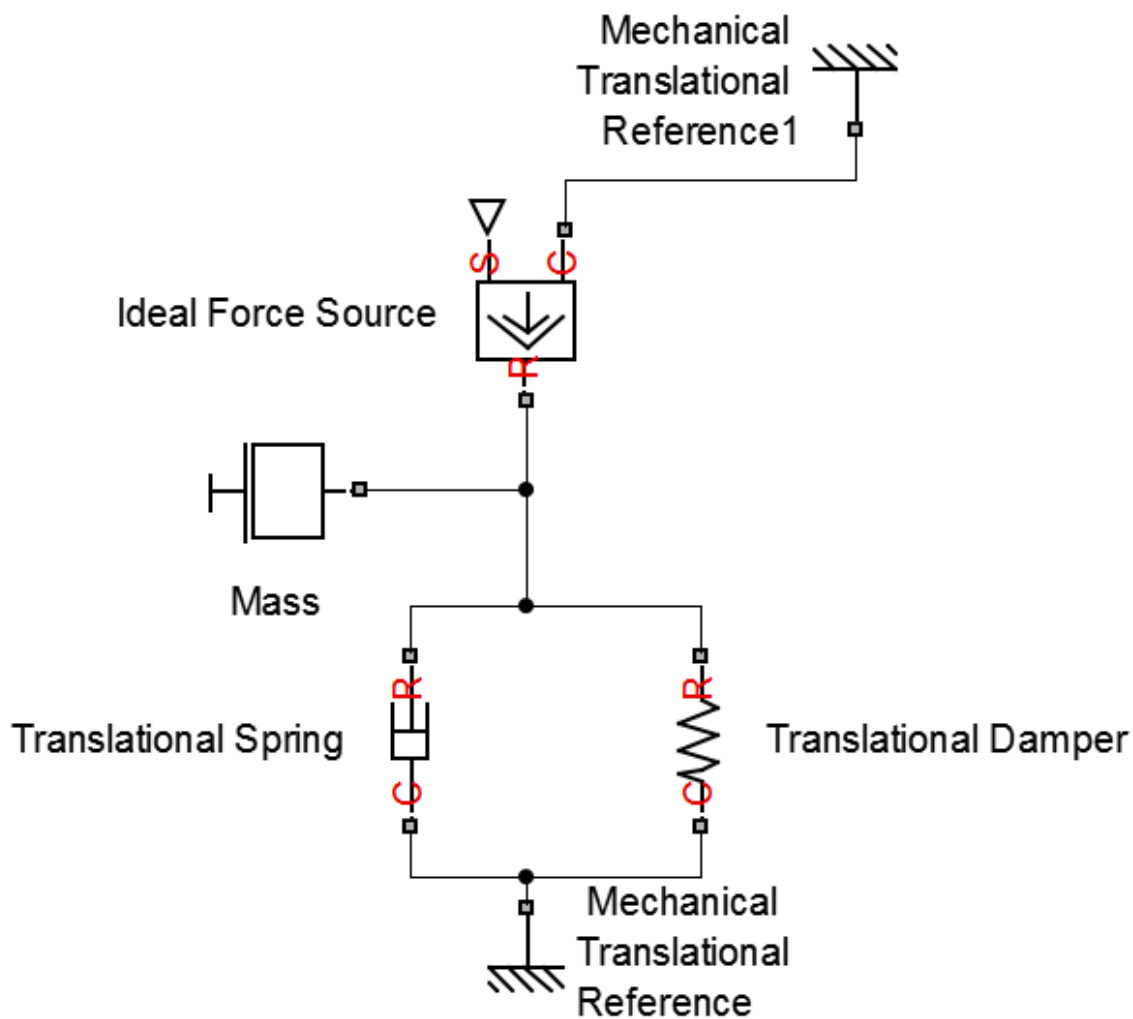
$$mx''(t) + bx'(t) + kx(t) = F(t) \quad (1)$$

- m – hmotnost tělesa
- b – tuhost pružiny
- k – tuhost tlumiče
- $F(t)$ – síla působící na těleso

Postup pro vytvoření modelu mechanického systému:

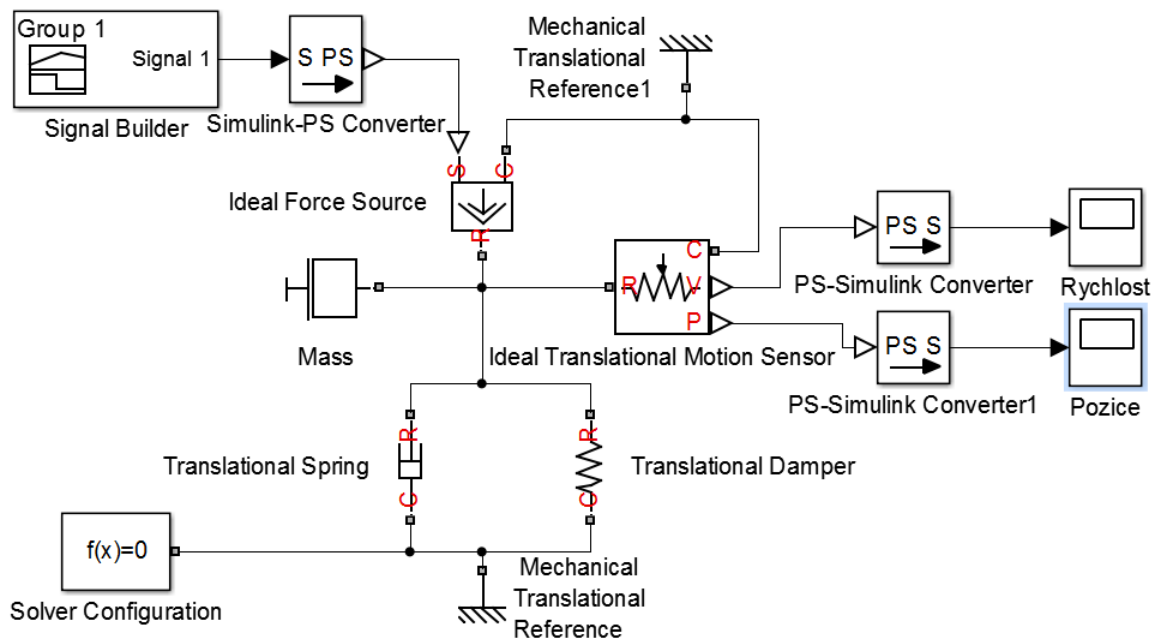
1. Spuštění programu Matlab a poté pomocí příkazu *simulink* otevření Simulink knihovny.

2. Vytvoření nového modelu kliknutím v horní liště na **File > New > Model**. Program vytvoří nový prázdný model a zobrazí jej v novém okně.
3. Nalezení mechanických bloků, které se nachází v záložce **Simscape > Foundation Library > Mechanical**.
4. Sestavení základního modelu z těchto bloků: **Mass, Translation Spring, Translation Damper, Ideal Force Source, Mechanical Translational Reference**. Bloky se v novém modelu otáčejí pomocí stisknutí klávesy Ctrl + R. Převrácení bloku se provede pomocí kláves Ctrl + I.
5. Spojení bloků pomocí myši viz Obr. č. 19.
6. Spojení modelu se Simulinkem a přivedení vstupního signálu. Model bude ještě obsahovat následující bloky: **Signal Builder, Simulink – PS Converter, PS – Simulink Converter, Ideal Translational Motion Sensor**. Pro rychlé nalezení konkrétních bloků je v Simulinku vytvořen vyhledávač, do kterého stačí napsat název bloku.




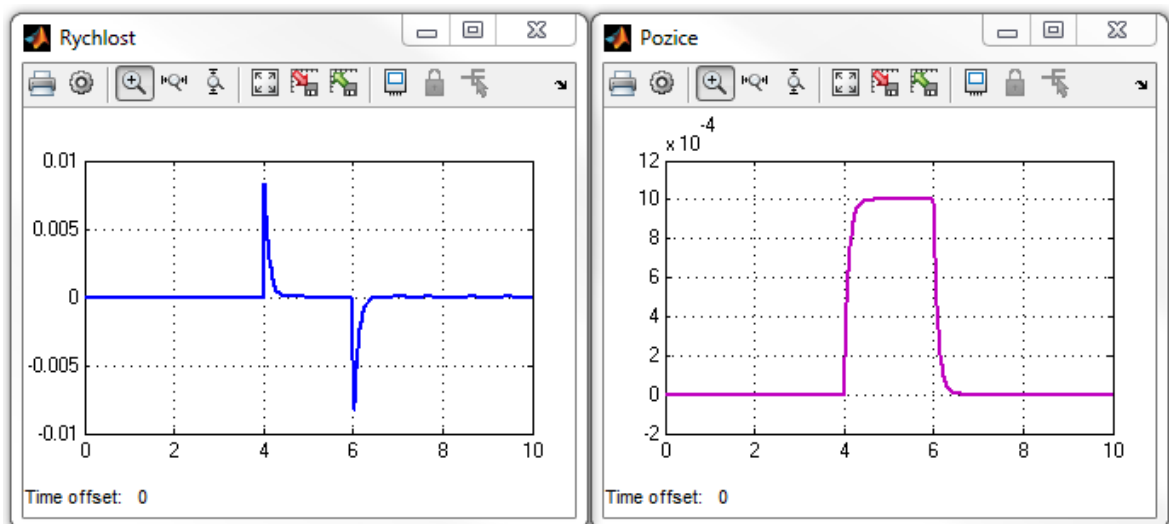
Obr. č. 19 – Základní mechanický model

7. Připojení bloku **Solver Configuration**. Nastavení řešitele se provede kliknutím na **Simulation > Model Configuration Parameters**, kde se položka **Solver** nastaví na **ode15s (stiff/DNF)**. Kompletní zapojení modelu je na Obr. č. 20. [8]



Obr. č. 20 – Kompletní mechanický model propojený se Simulinkem

Simulace se spustí pomocí kláves Ctrl + T, nebo kliknutím na tlačítko . Rychlost a pozice modelu se zjistí dvojklikem na blok Scope, který je na Obr. č. 20 pojmenován jako rychlost a pozice. Výstupy jsou znázorněny na Obr. č. 21.



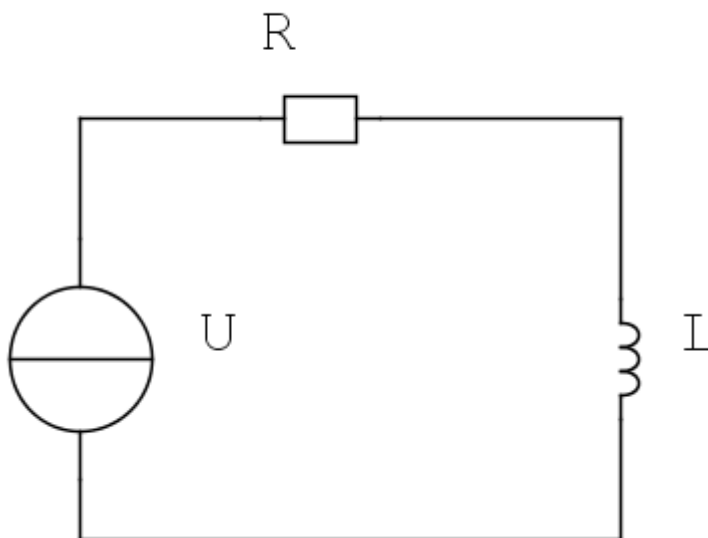
Obr. č. 21 – Zobrazení výsledků simulace pomocí bloku Scope

Chování modelu se zkoumá pomocí změn parametrů. Tvar vstupního signálu lze změnit v bloku Signal Builder, nebo připojit blok Step a sledovat chování modelu při jiném vstupním signálu. Výsledky simulace se také změní, pokud se nastaví jiná hmotnost tělesa, nebo se změní tuhost pružiny a tlumiče. Model je spojen se Simulinkem pomocí S – PS

bloku (Simulink – PS Converter), který převádí signál ze Simulinku. V bloku S - PS se nastavuje pouze jednotka veličiny, na kterou je signál převáděn. Pro zobrazení výsledku pomocí bloku Scope je nutné převést signál ze Simscape na signál, který využívají bloky Simulink. Pro převod se používá blok PS – S (PS – Simulink Converter). Zmíněné bloky jsou v záložce Simscape -> Utilities.

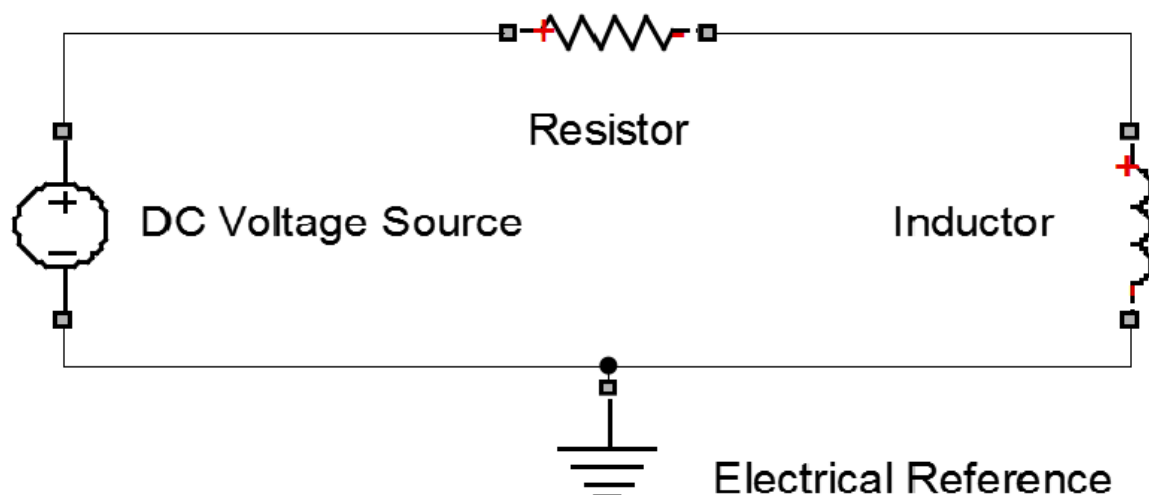
9.5 Model jednoduchého elektrického obvodu

V tomto příkladu je vytvořen jednoduchý elektrický obvod. Budou využity základní elektrické bloky Simscape. Schéma modelu je na Obr. č. 22. Napětí na zdroji je 10 V. Odpor na rezistoru je 5 Ω . Indukčnost na cívce je 0.05 H.



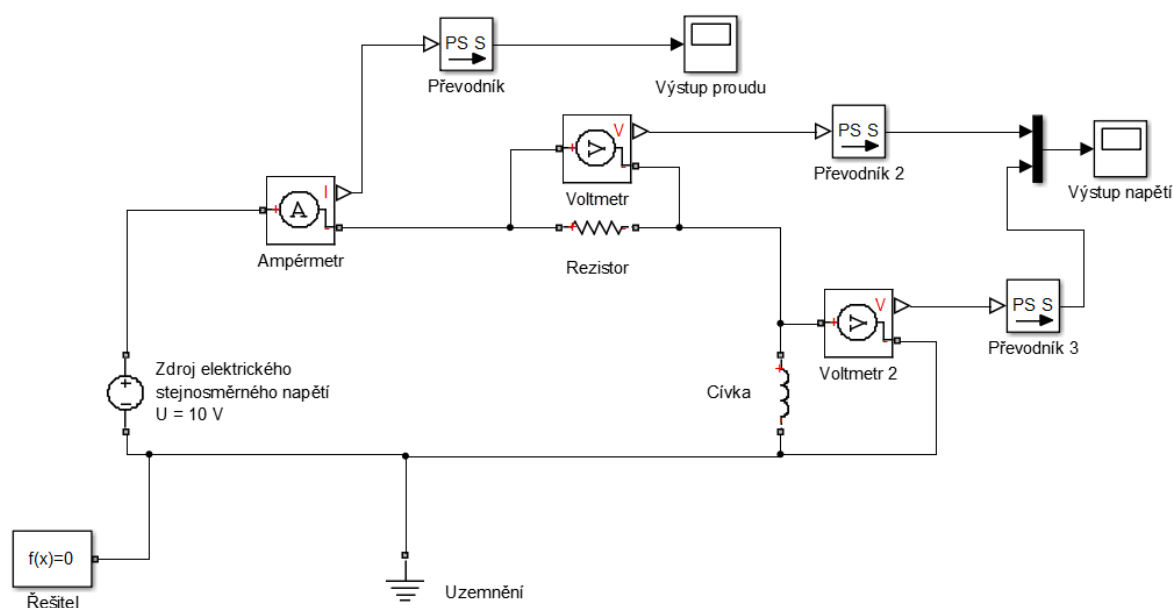
Obr. č. 22 – Schéma elektrického obvodu vytvořené
v programu FidoCadJ

Pro vytvoření modelu podle výše uvedeného schématu jsou použity tyto bloky: **DC Voltage Source, Resistor, Inductor, Electrical Reference**. Zapojení je zobrazeno na Obr. č. 23.



Obr. č. 23 – Základní model elektrického obvodu

Pro změření napětí a proudu jsou použity bloky **Voltage Sensor** a **Current Sensor**. Závislost napětí a proudu na čase je zobrazena pomocí bloku **Scope**. Pro zobrazení více signálů v jednom grafu byl použit blok **Mux**. Aby mohl být tento blok použit, musel se převést signál ze Simscape pomocí bloku PS – Simulink Converter. V převodníku je nutné nastavit jednotku veličiny, ze které se signál převádí. Pro napětí je to Volt a pro proud je to Ampér. Kompletní schéma zapojení je na Obr. č. 24. Druh řešitele byl nastaven stejným způsobem, jako v předchozím modelu. Délka simulace je nastavena na 0.1 sekund.



Obr. č. 24 – Kompletní model elektrického obvodu propojený se Simulinkem

Průběhy napětí a proudu jsou znázorněny v kapitole 10.2 v grafech na Obr. č. 30, 31.

9.6 Model fyzikálního kyvadla v SimMechanics

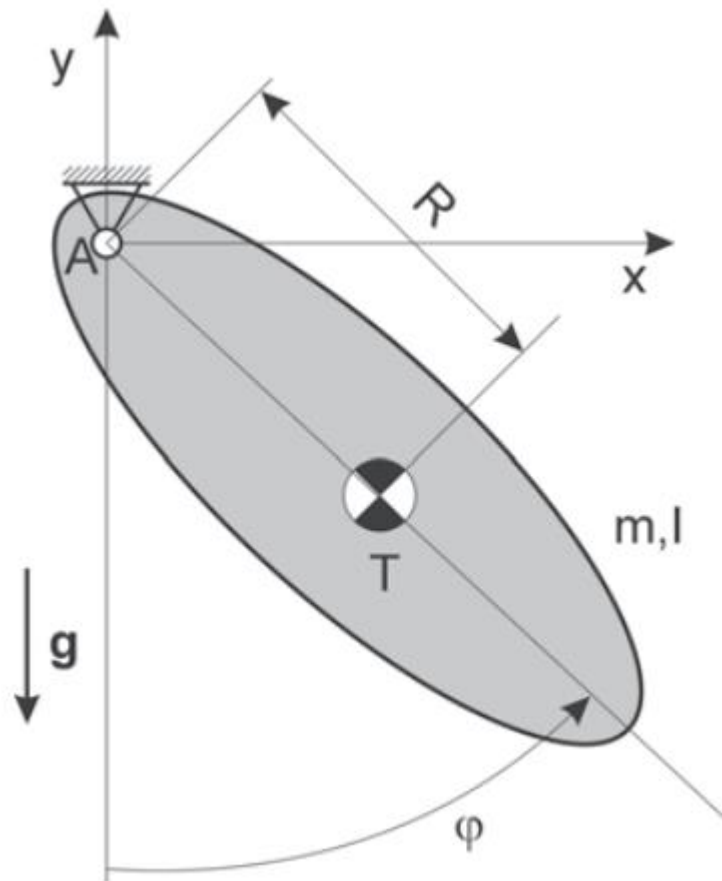
Jde o jednoduchý model vytvořený v SimMechanics. Schéma je znázorněno na Obr. č. 25. Jde o mechanickou soustavu, která má jeden stupeň volnosti. Při vytváření modelu je nutné zadat vlastnosti tělesa a vazby vzhledem k pevnému bodu.

Pohybová rovnice má [9] tento tvar:

$$\ddot{\varphi} + \frac{mgR}{I_A} \sin \varphi = 0 \quad (11)$$

$$I_A = I_T + mR^2 \quad (12)$$

- φ – velikost úhlu, o který je těleso vychýleno
- m – hmotnost tělesa
- g – gravitační zrychlení
- R – vzdálenost těžiště od pevného bodu
- I_A – moment setrvačnosti související s vazbou A
- I_T – moment setrvačnosti tělesa



Obr. č. 25 – Schéma fyzikálního kyvadla [9]

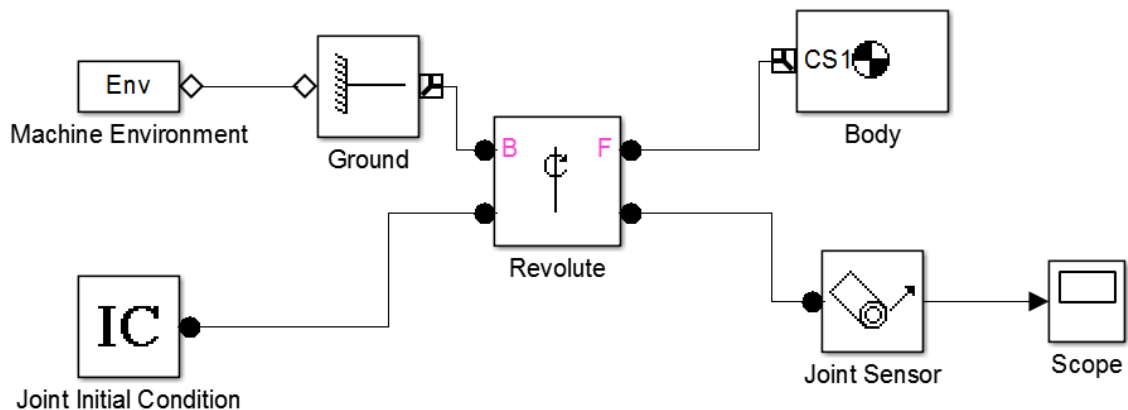
- g – gravitační zrychlení
- φ – výchylka ramene od svislé polohy
- T – těžiště tělesa
- m – hmotnost tělesa
- l – délka ramene
- A – pevný bod
- R – vzdálenost těžiště od pevného bodu
- x, y – osy kartézského souřadnicového systému

Model se vytvoří použitím následujících SimMechanics bloků:

- **Ground** - pevný bod, kde se zadává poloha pomocí globálního souřadnicového systému.
- **Body** – těleso, v tomto případě kyvadlo. V tomto bloku se zadává hmotnost tělesa, těžiště a alespoň jeden přípojný bod.

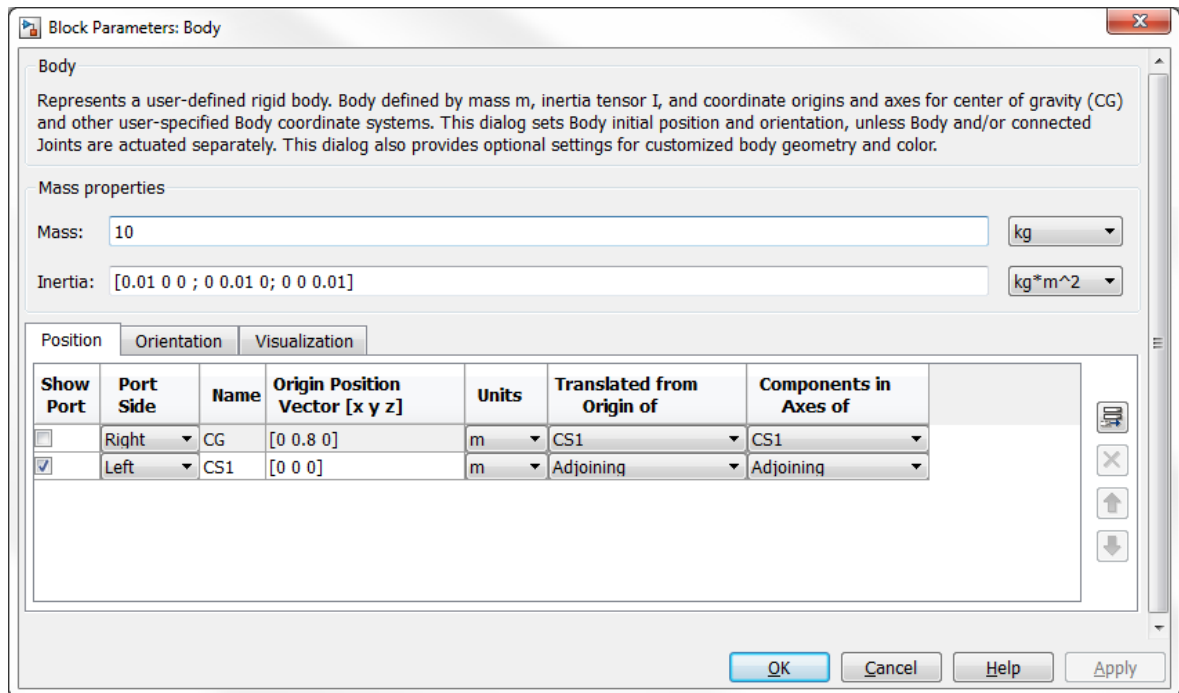
- **Revolute** – rotační vazba. V tomto bloku se zadává vektor osy rotace, v tomto případě $[0\ 0\ 1]$ (osou rotace je osa z).
- **Machine Environment** – definuje simulační mechanické prostředí.
- **Joint Initial Condition** – nastaví počáteční podmínky.
- **Joint Sensor** – blok pro měření pozice.

Spojení bloků je znázorněno na Obr. č. 26. Při použití SimMechanics bloků se nepoužívá PS – S blok.



Obr. č. 26 – Model fyzikálního kyvadla v SimMechanics

1. V Bloku **Ground** se nastaví vektor na $[0\ 0\ 0]$, a zaškrtně se políčko **Show Machine Environment port**. Nastavený vektor umísťuje pevný bod do souřadnicového systému.
2. U bloku **Revolute** se nastaví položka **Number of sensor** na **2** a vektor osy rotace se nastaví na $[0\ 0\ 1]$.
3. Blok **Joint Initial Condition** se nastaví **Position** na $\pi/4$, **Units** na **rad**, **Velocity** na **0**, **Units** na **rad/s**.
4. V bloku **Joint Sensor** se nastaví **Units** na **rad**.
5. Nastavení bloku **Body** je na Obr. č. 27.

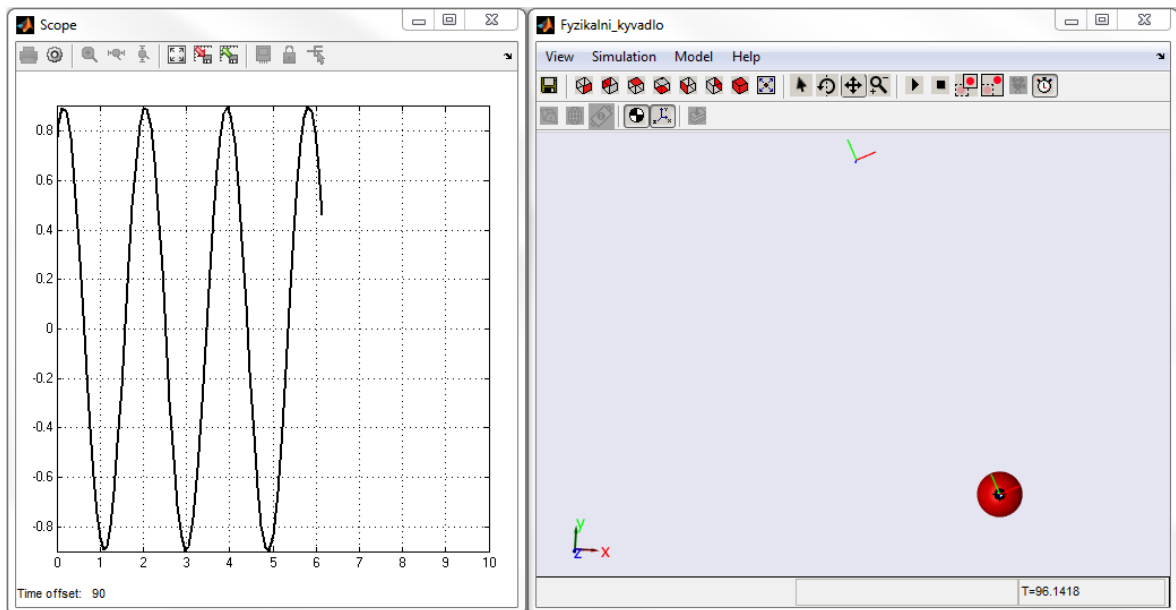


Obr. č. 27 – Nastavení bloku Body

6. Před spuštěním simulace je nutné nastavit vizualizaci, která je defaultně vypnutá. V horním menu se zvolí **Simulation > Model Configuration Parametres > SimMechanics 1G**, kde se zatrhnou volby **Display machines after updating diagram**, **Show animation during simulation**.

V bloku body se nastavuje poloha těžiště **CG** a poloha dalšího bodu **CS1**, v tomto případě vazby A, která je zobrazena na Obr. č. 25. Matice v políčku **Inertia** nastavuje setrvačnost pro každou osu zvlášť.

Ukázka animace modelu je na Obr. č. 28. Při tvorbě modelu se nezadával směr ani velikost tíhového zrychlení, z jeho chování je ale patrné, že má směr záporné osy y . Animace znázorňuje pohyb kyvadla. Pohybující těleso je znázorněno červenou kuličkou. Blok Scope znázorňuje polohu tělesa v čase. [9]



Obr. č. 28 – Ukázka animace (vpravo) a výstup bloku Scope (vlevo)

10 SROVNÁNÍ VYTVOŘENÝCH MODELŮ S MATEMATICKÝM MODELEM

V této kapitole jsou srovnány první dva model vytvořené v manuálu s matematickým modelem.

10.1 Model jednoduchého mechanického systému

Vypočet bude uveden nejprve obecně, a poté bude provedeno srovnání pomocí přechodové charakteristiky. Pro model mechanického odpružení byly vybrány následující parametry:

- $m = 2$ kg – hmotnost tělesa
- $k = 1$ N/m – tuhost pružiny
- $b = 1$ N/(m/s) – součinitel útlumu

Výpočet přenosu:

Pro určení přenosu se vychází z diferenciální rovnice, (1) na kterou je aplikována Laplaceova transformace.

$$L\{mx''(t) + bx'(t) + kx(t)\} = L\{F(t)\} \quad (2)$$

Při výpočtu se uvažují nulové počáteční podmínky. Po aplikaci Laplaceovy transformace má rovnice tento tvar:

$$ms^2Y(s) + bsY(s) + kY(s) = F(s) \quad (3)$$

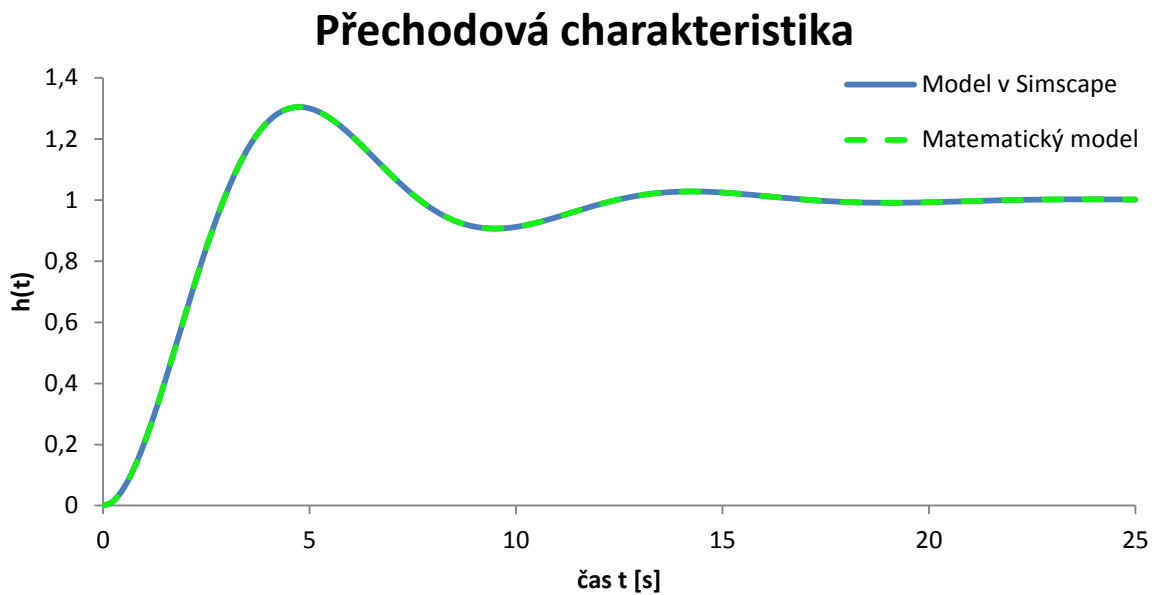
Přenos systému má tvar:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k} \quad (4)$$

Po dosazení parametrů:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{F(s)} = \frac{1}{2s^2 + s + 1} = \frac{0.5}{s^2 + 0.5s + 0.5} \quad (5)$$

Srovnání přechodových charakteristik vytvořeného modelu a matematického modelu je na Obr. č. 29.



Obr. č. 29 – Srovnání přechodových charakteristik

10.2 Model jednoduchého elektrického obvodu

Základní rovnice vychází z II. Kirchhoffova zákona:

$$-U + u_R + u_L = 0 \quad (6)$$

Napětí na rezistoru a cívce u_R , u_L se vyjádří jako funkce proudu podle Ohmova zákona.

$$-U + R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} = 0 \quad \text{po úpravě} \quad i + \frac{L}{R} \cdot \frac{di}{dt} = \frac{U}{R} \quad (7)$$

Po vyřešení lineární diferenciální rovnice platí pro okamžitou hodnotu proudu tento vztah:

$$i = \frac{U}{R} \cdot \left(1 - e^{-t \cdot \frac{R}{L}} \right) \quad (8)$$

Rovnice pro výpočet okamžitého napětí na rezistoru má tvar:

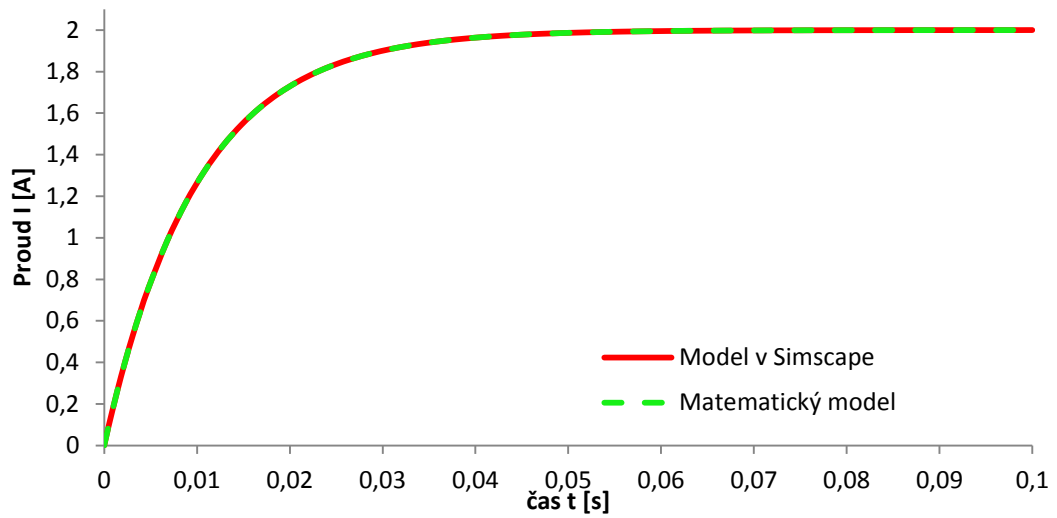
$$u_R = R \cdot i = U \cdot \left(1 - e^{-t \cdot \frac{R}{L}} \right) \quad (9)$$

Rovnice pro výpočet okamžitého napětí na cívce má tvar:

$$u_L = L \cdot \dot{i} = U \cdot e^{-t \cdot \frac{R}{L}} \quad (10)$$

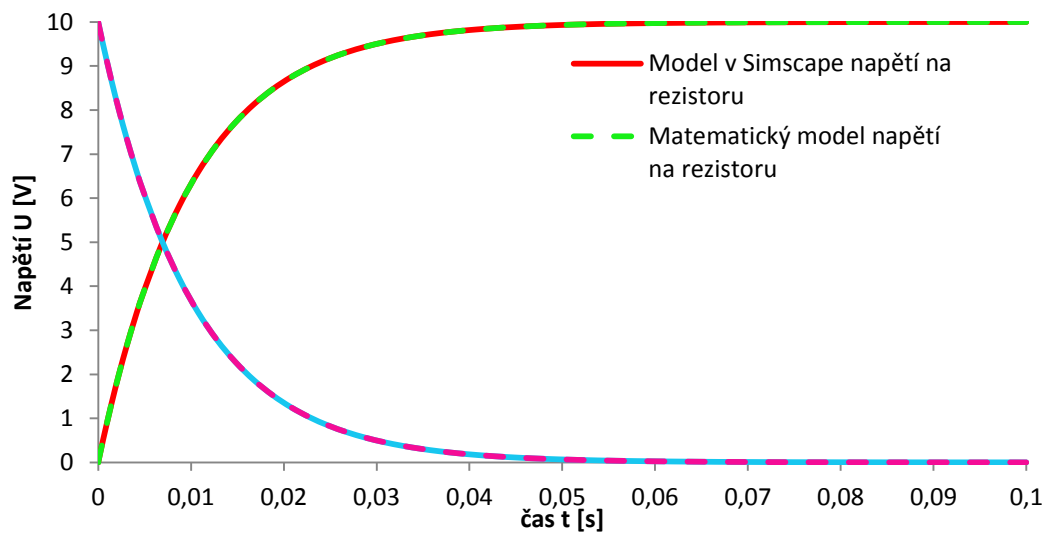
Srovnání modelu ze Simscape a matematického modelu je v grafech na Obr. č. 30, 31.

Graf závislosti proudu na čase



Obr. č. 30 – Závislost proudu v modelu elektrického obvodu

Graf závislosti napětí na čase



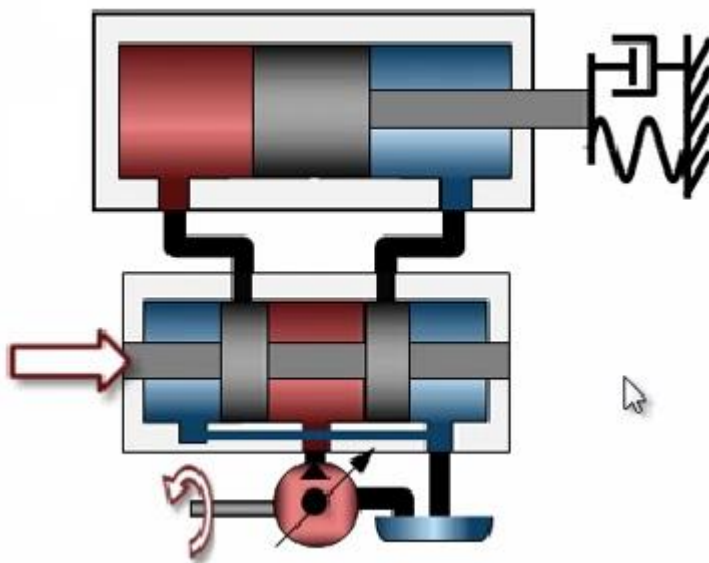
Obr. č. 31 – Závislost napětí v modelu elektrického obvodu

11 VYTVOŘENÉ MODELY

Kapitola se skládá s vybraných modelů. Každý model bude stručně popsán, bude zobrazeno propojení bloků a graf, který znázorňuje jeho chování.

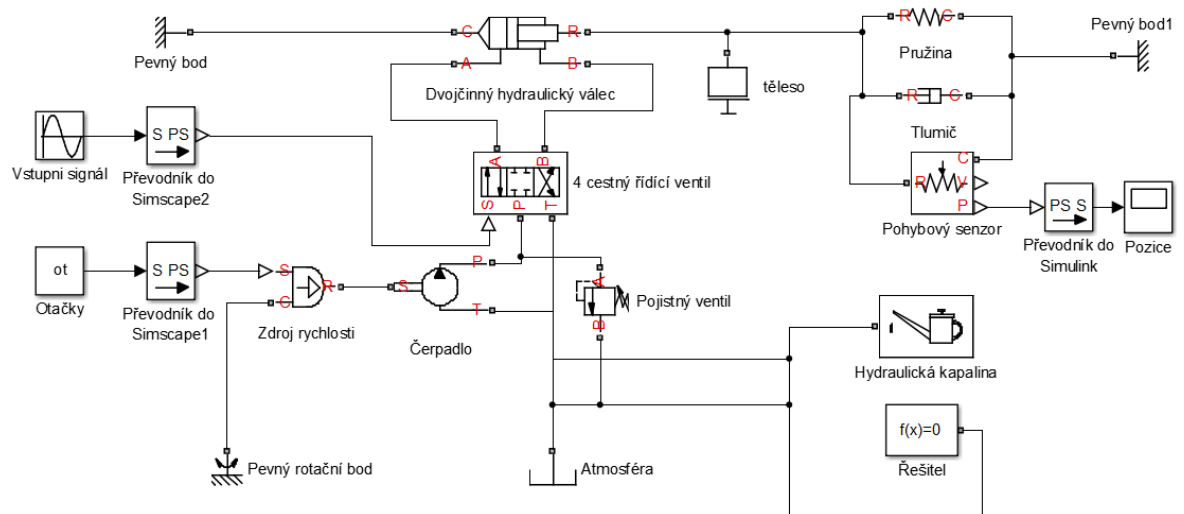
11.1 Model dvoucestného ventilu v SimHydraulics

Model simuluje hydraulické ovládání systému pomocí SimHydraulics. Skládá se s dvojčinného hydraulického válce, který je ovládán 4 – cestným řídicím ventilem. Průtok hydraulické kapaliny zajišťuje čerpadlo poháněné motorem.



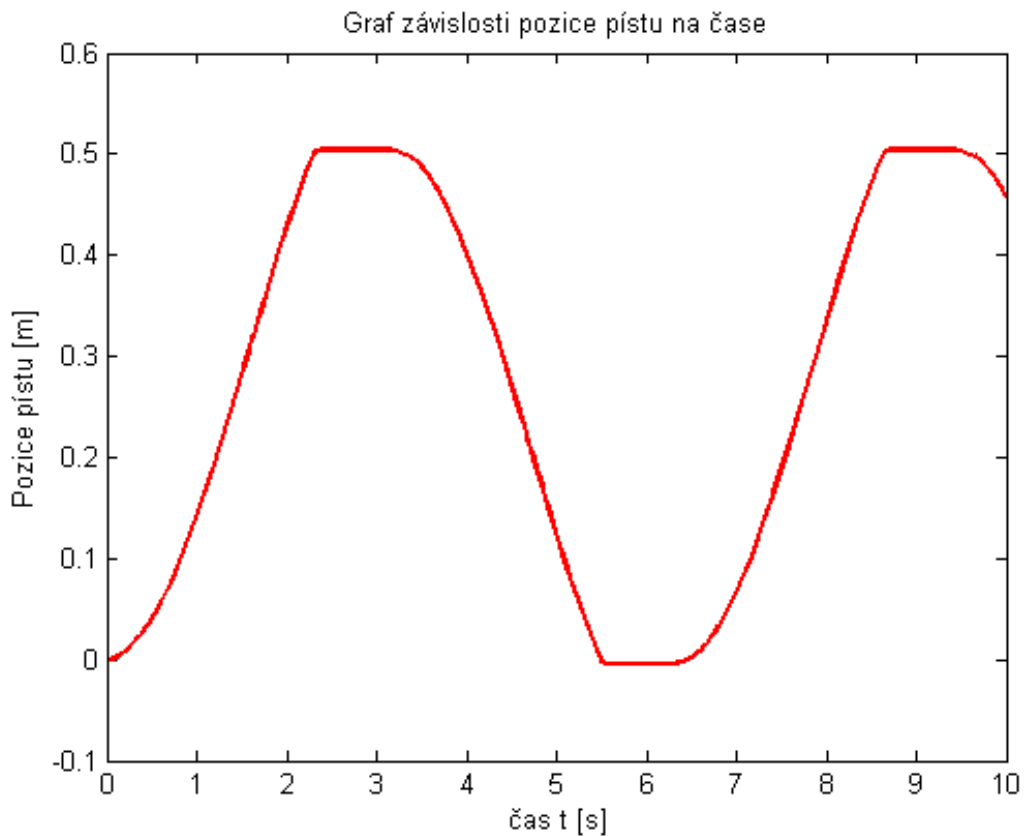
Obr. č. 32 – Schéma hydraulického modelu [21]

Do ventilu je přiveden sinusový signál, pomocí kterého se ventil otevírá a zavírá. Hydraulický válec koná přímočarý vratný pohyb, z jedné strany je připevněn k pevnému bodu a z druhé strany působí na těleso o hmotnosti 100 kg. Pro lepší orientaci jsou bloky přejmenovány.



Obr. č. 33 – Model dvoucestného hydraulického ventilu v SimHydraulics

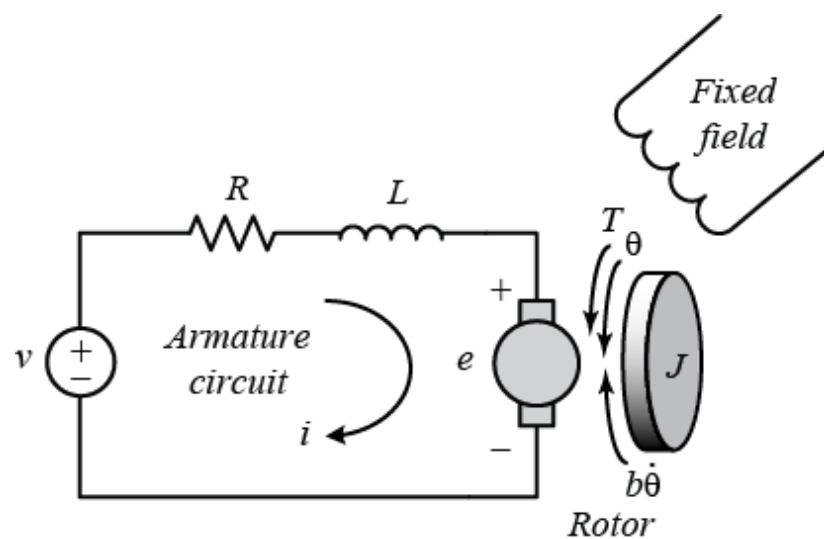
Kompletní model je přiložen k této práci. Zapojení je znázorněno na Obr. č. 33. K tomuto modelu byl vytvořen skript, ve kterém jsou definovány důležité parametry modelu. Skriptem se spustí model a simulace, poté se vytvoří graf. Chování modelu znázorňuje graf na Obr. č. 34. Pro správnou funkci je důležité spustit tento skript před spuštěním simulace, aby se nastavily parametry modelu. [21]



Obr. č. 34 – Závislost pozice pístu na čase v modelu dvoucestného ventilu

11.2 Model DC motoru v Simscape

V řídicích systémech se jako pohon může použít DC motor. Ten nabízí rotační pohyb, nebo spolu s koly poskytuje pohyb translační. Schéma motoru je na Obr. č. 35.

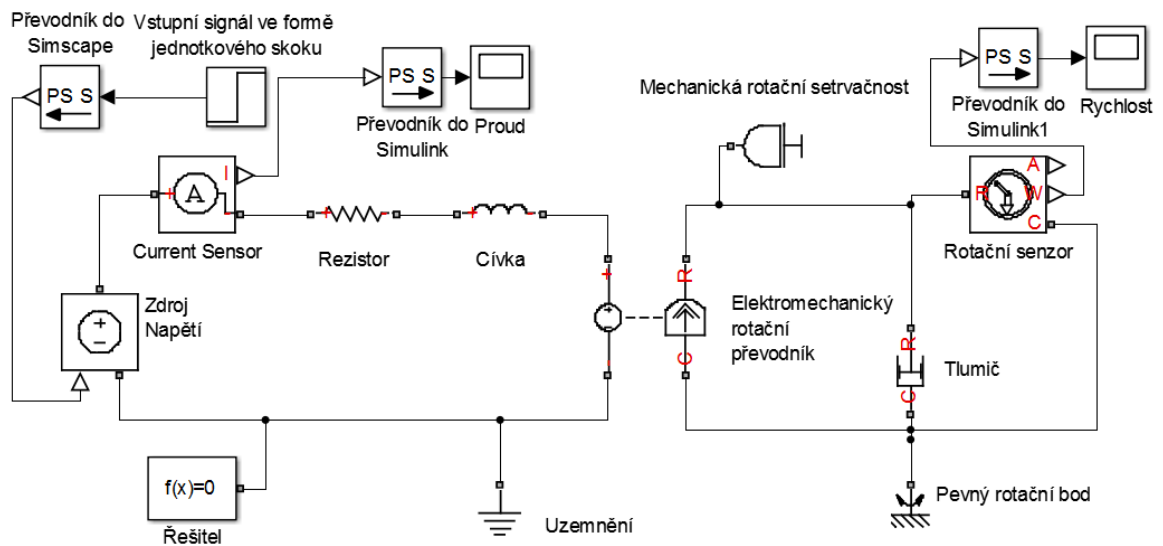


Obr. č. 35 – Schéma DC motoru[22]

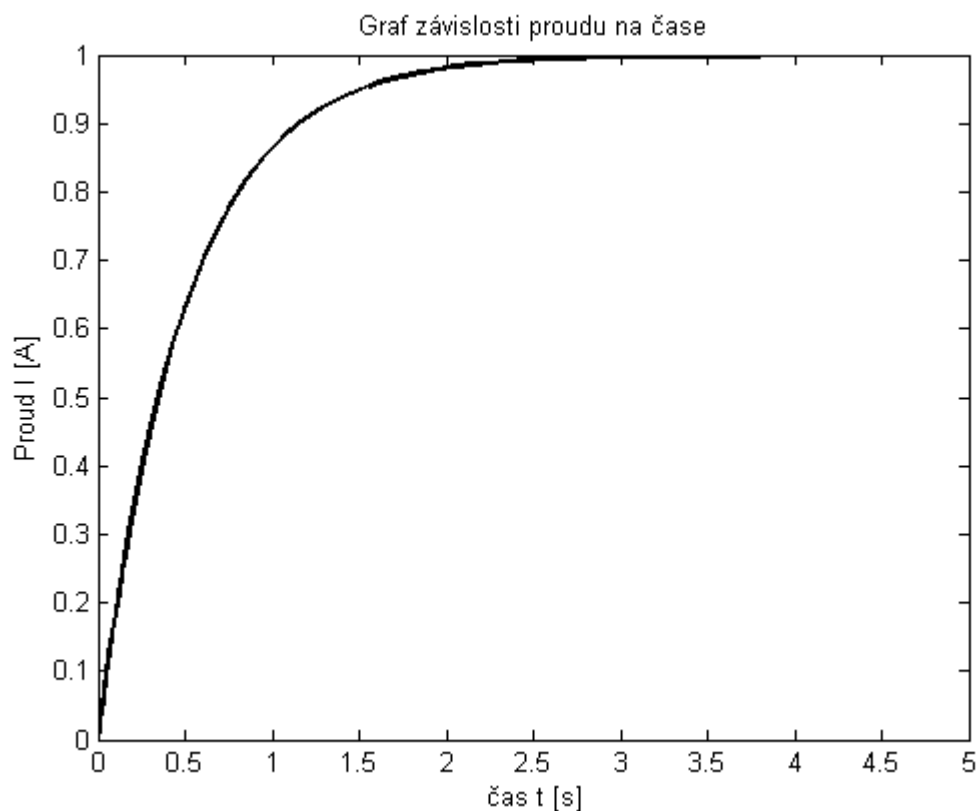
Důležité parametry pro model:

- J – moment setrvačnosti rotoru
- b – tlumení rotoru
- R – odpor rezistoru
- L – indukčnost cívky
- K – točivý moment motoru

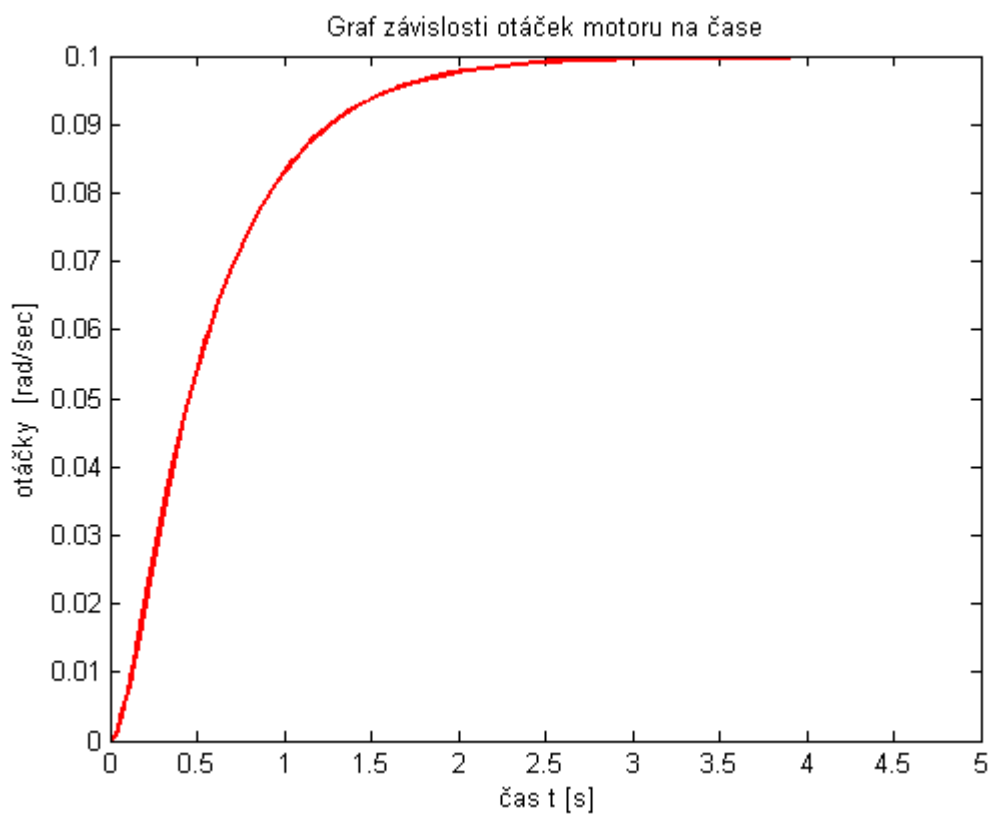
Jako vstupní signál do modelu je připojen blok Step, který při správném nastavení (v čase 0 se nastaví hodnota signálu na jednotku) vytvoří přechodovou charakteristiku systému. Model motoru je znázorněn na Obr. č. 36. Důležité parametry modelu jsou definovány ve vytvořeném skriptu, který je přiložen k této práci. Spuštěním skriptu se nastaví parametry a spustí se simulace, výstupem jsou grafy zobrazené na Obr. č. 37, 38. [22]



Obr. č. 36 – Model DC motoru v Simscape



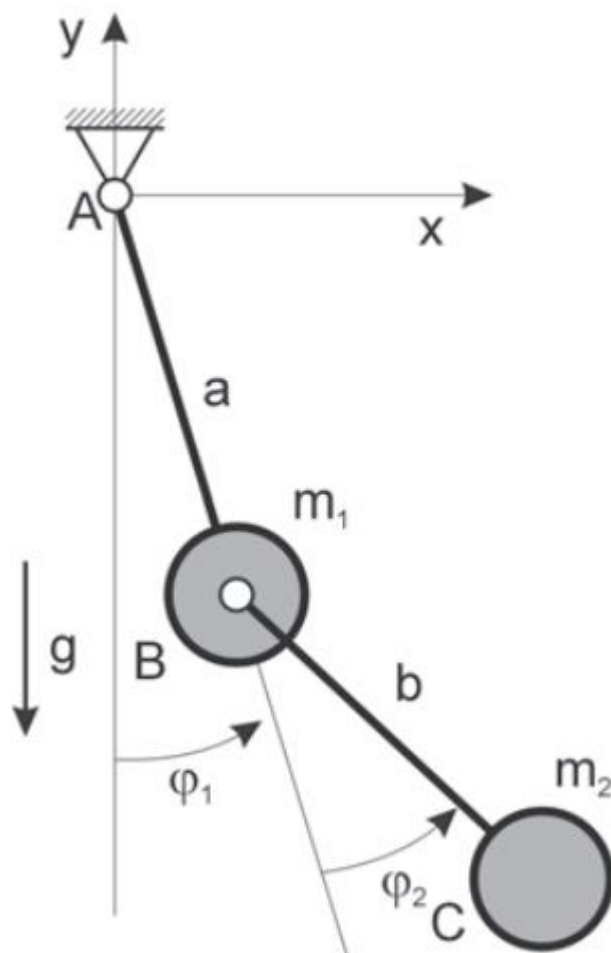
Obr. č. 37 – Závislost proudu na DC motoru při jednotkovém skoku



Obr. č. 38 – Závislost otáček DC motoru při jednotkovém skoku

11.3 Model dvojitého kyvadla v SimMechanics

Model rozšiřuje fyzikálního kyvadlo z kap. 9.6. Dvojité kyvadlo se skládá ze dvou jednoduchých kyvadel, kdy jedno kyvadlo je upevněno na konec druhého kyvadla.

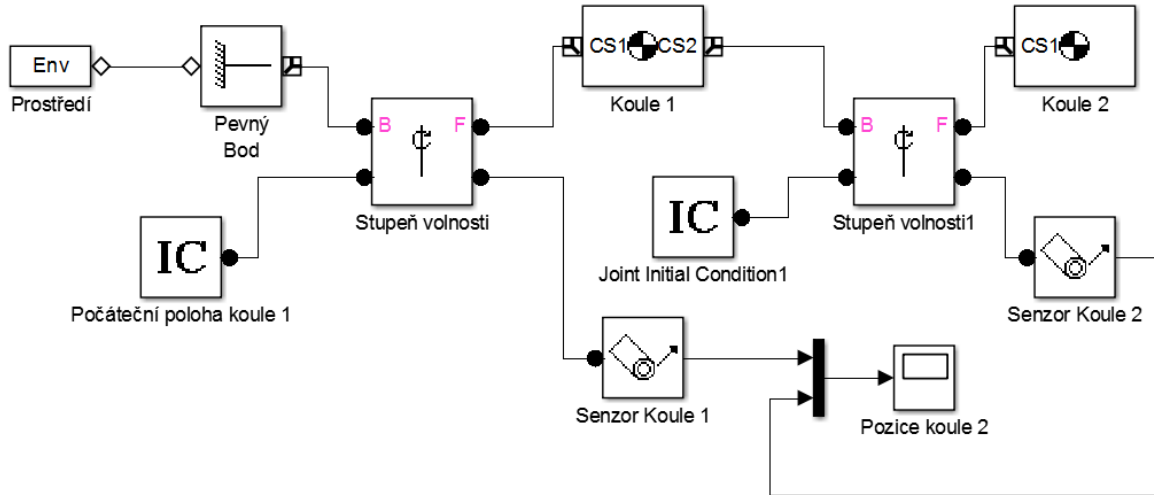


Obr. č. 39 – Schéma dvojitého kyvadla [9]

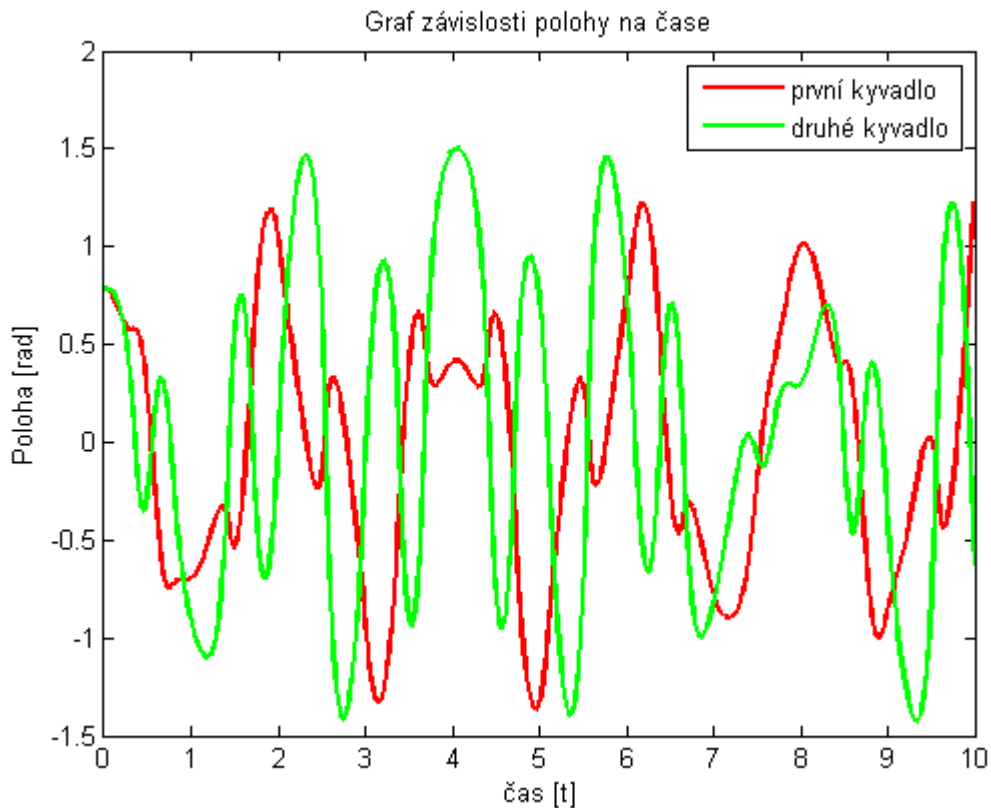
- A – pevný bod, ke kterému je kyvadlo připevněno
- B, C – označení těles
- g – gravitační zrychlení
- a, b – délka ramen
- m_1, m_2 – hmotnosti těles
- φ_1, φ_2 – vychýlení kyvadla od osy y

Důležité parametry jsou definovány v pomocném skriptu, který je přiložen k modelu. Kompletní zapojení modelu je na Obr. č. 40. Pohyb kyvadla je nelineární a velmi citlivý na počáteční polohu. Pohyb těles je znázorněn v grafu na Obr. č. 41. Do tohoto modelu není

zapojena žádná vnější síla, protože kyvadlo se pohybuje v gravitačním poli a díky počáteční podmínce je na začátku simulace vychýleno. Tělesa jsou stejně velká a je u nich nastavena stejná setrvačnost. [9]



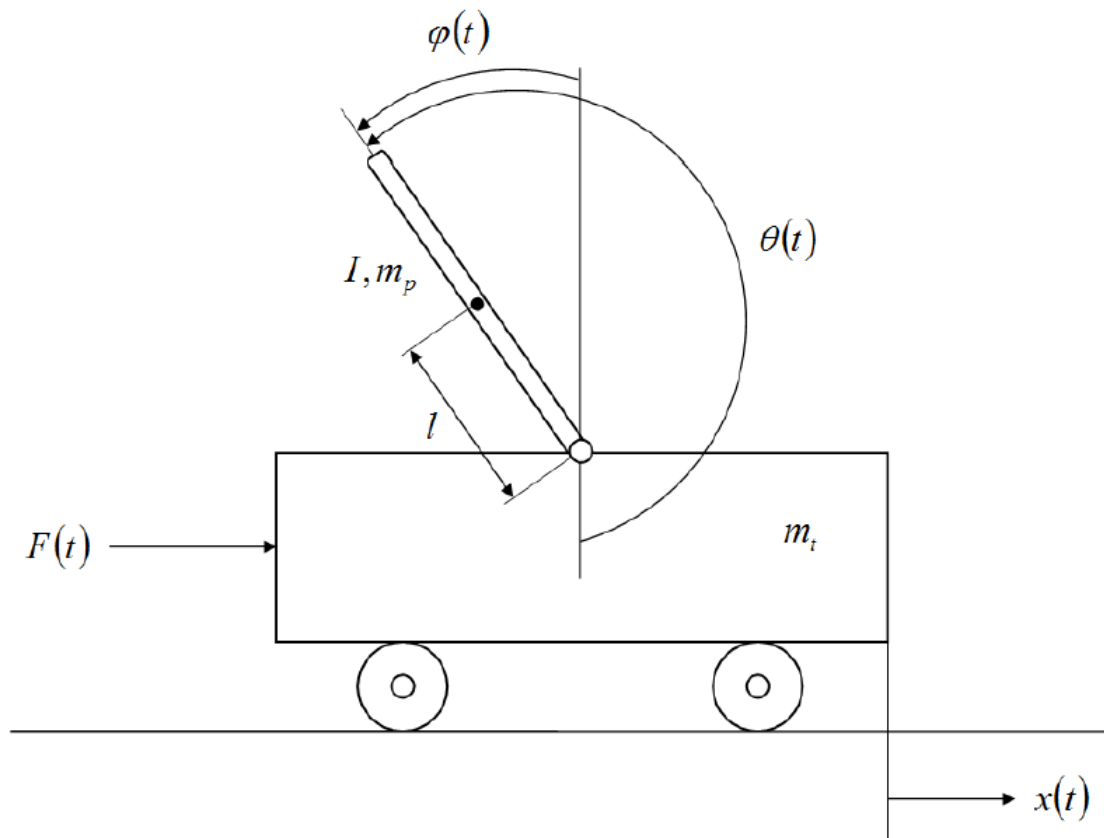
Obr. č. 40 – Model dvojitého kyvadla vytvořený v SimMechanics



Obr. č. 41 – Nelineární chování dvojitého kyvadla

11.4 Model inverzního kyvadla na vozíku v SimMechanics

Jedná se o dvou – dimenzionální verzi kyvadla, které je připevněno na vozíku. Schéma inverzního kyvadla je na Obr. č. 42. Na vozík, který se pohybuje po vodorovné rovině, působí síla společně s pohybujícím se kyvadlem.

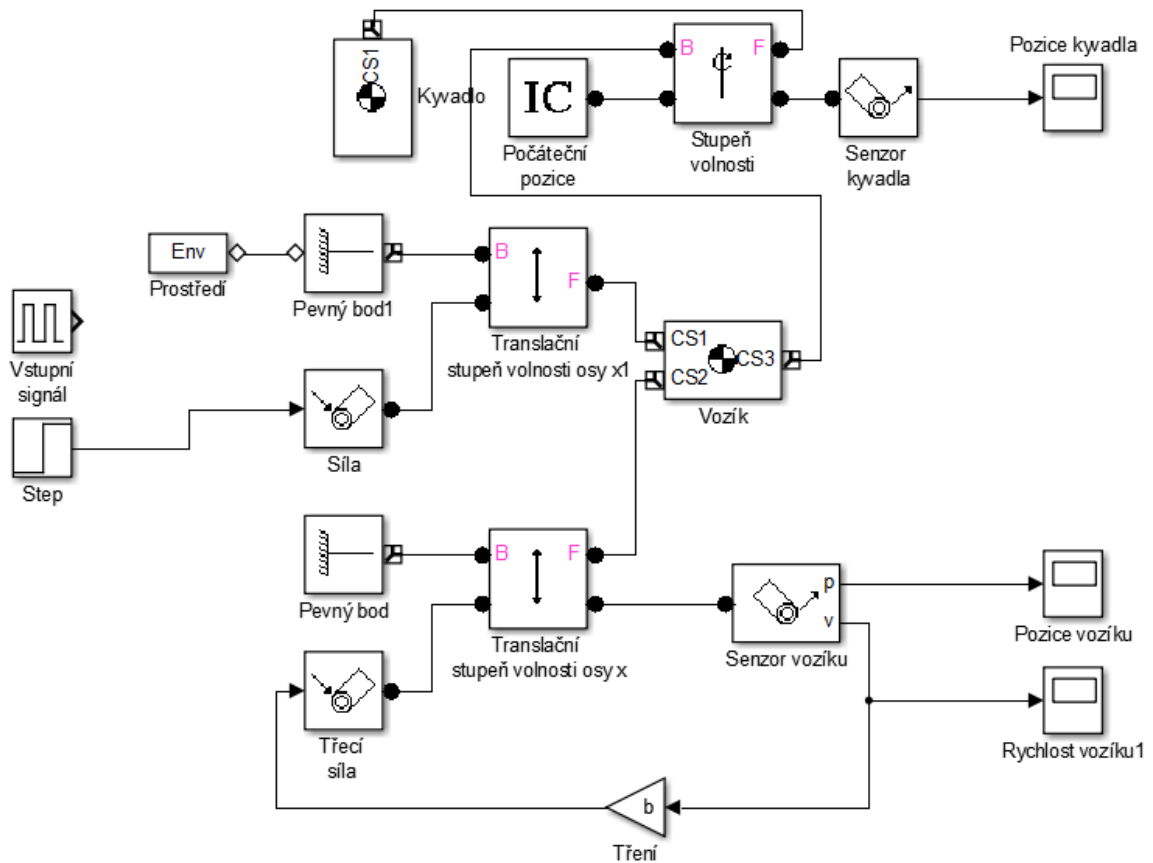


Obr. č. 42 – Schéma inverzního kyvadla [23]

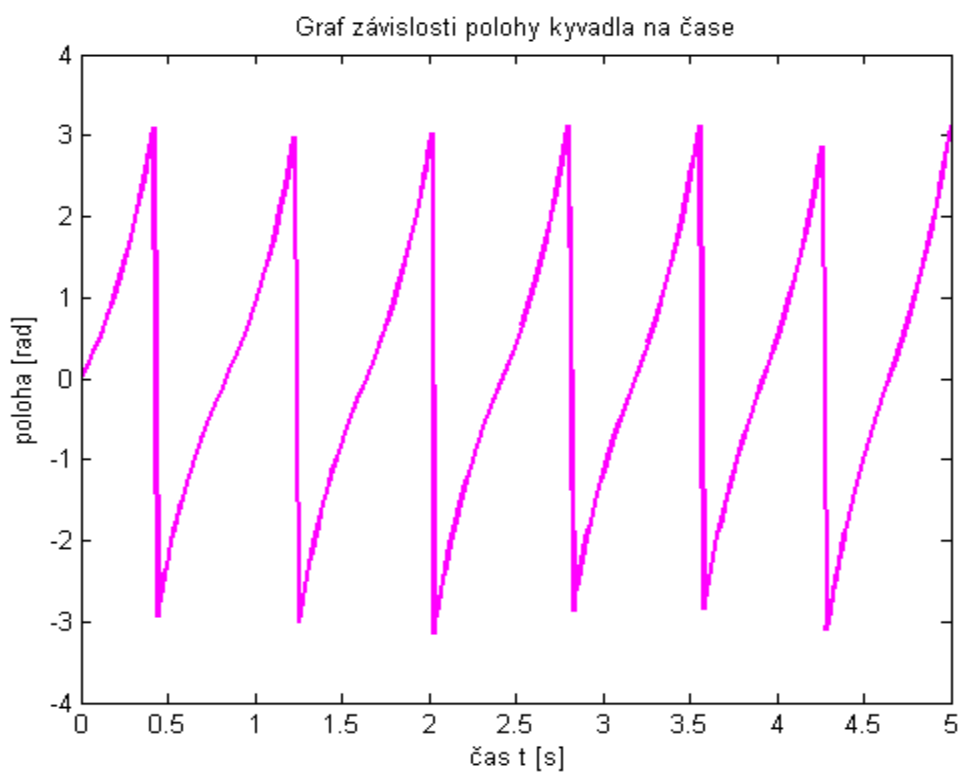
- m_t - hmotnost vozíku
- m_p - hmotnost kyvadla
- l - vzdálenost těžiště kyvadla od přípojného bodu vozíku
- I - moment setrvačnosti
- $x(t)$ - směr dráhy vozíku
- $F(t)$ - síla působící na vozík
- $\varphi(t)$ - úhel vychýlení kyvadla od osy y
- $\theta(t)$ - úhel vychýlení kyvadla

Výstupem tohoto modelu je úhlová poloha kyvadla, poloha a rychlost vozíku v závislosti na čase. Závislosti jsou zobrazeny na Obr. č. 44, 45, 46. Při vytváření modelu

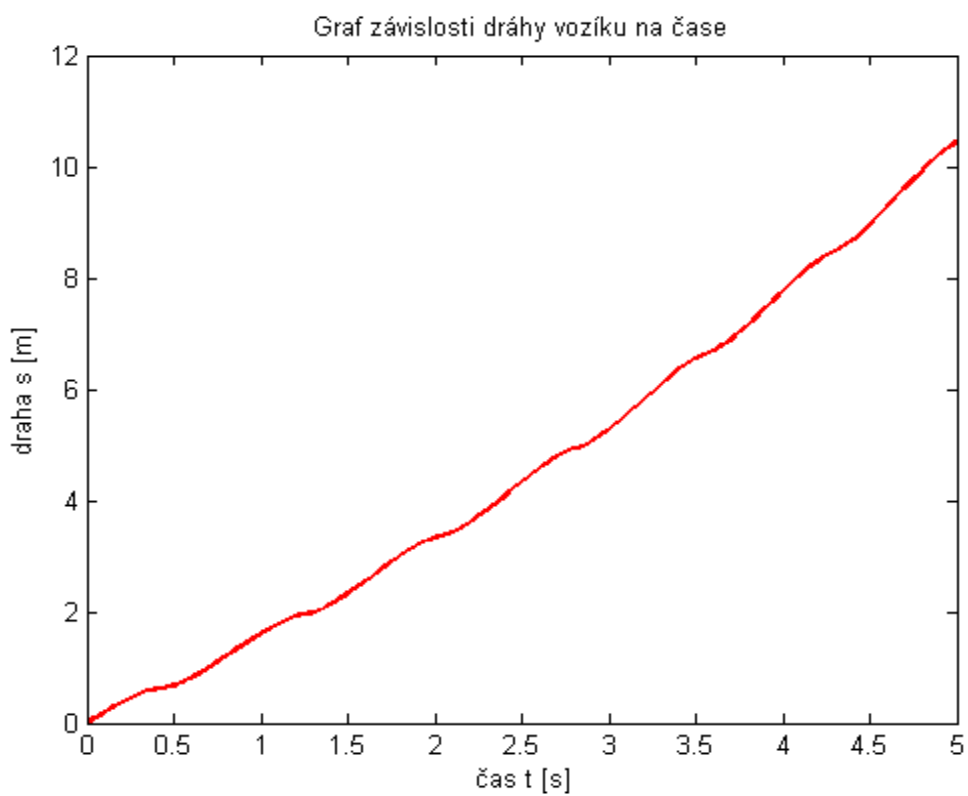
se předpokládalo, že v souřadnicovém systému se vozík pohybuje ve směru osy x. Model se skládá ze dvou těles, kyvadla a vozíku. Vytvořený model je zobrazen na Obr. č. 43. Tvar těles je definován pomocí bloku Body. Pro větší věrohodnost modelu byl přidán blok simulující třecí sílu, která působí proti pohybu vozíku. Důležité parametry modelu jsou uloženy ve spouštěcím skriptu, který je přiložen k modelu. [24]



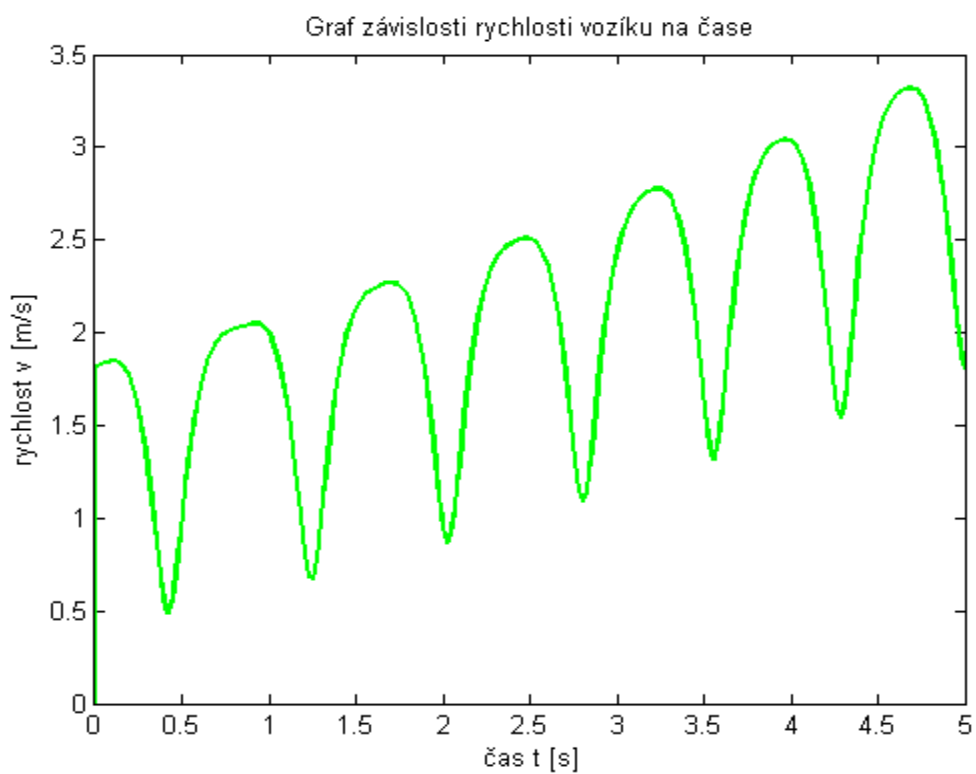
Obr. č. 43 – Model inverzního kyvadla na vozíku vytvořený v SimMechanics



Obr. č. 44 – Závislost polohy kyvadla na čase



Obr. č. 45 – Závislost pozice vozíku na čase



Obr. č. 46 – Závislost rychlosti vozíku

ZÁVĚR

Každého studenta zaujme jiný předmět a jiná kapitola ve výuce. Pomocí nástroje Simscape lze vymodelovat téměř jakýkoliv fyzikální model a proto může sloužit jako praktická ukázka při výkladu látky v předmětech Automatizace a Teorie systémů, které se učí ve 4. a 5. semestru bakalářského studia oboru Informační a řídicí technologie na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Simscape má bohaté uplatnění v praxi a používá ho mnoho průmyslových odvětví, proto je jakákoliv zkušenost s ním výhodou.

V teoretické části je popsán software Matlab, Simulink, Simscape a jeho rozšíření SimMechanics, SimElectronics a SimHydraulics včetně jejich charakteristických vlastností, principu modelování a oblasti použití. Pro větší přehlednost práce obsahuje obrázky znázorňující popisované prostředí. Závěr teoretické části se věnuje informacím o Simscape v češtině a využití těchto rozšíření v Automatizaci a Teorii systémů.

Praktická část obsahuje manuál s návodem na vytvoření celkem tří modelů. Jako první model je uvedeno jednoduché mechanické odpružení, které se skládá z mechanických bloků. Druhý model je vytvořen z elektrických bloků a simuluje jednoduchý elektrický obvod. Pro první dva zmíněné modely byl spočítán matematický model a porovnán s výsledky modelu vytvořeného v Simscape. Oba výsledky byly shodné, což dokazuje přesnost Simscape. Poslední model v manuálu je matematické kyvadlo vytvořené pomocí rozšíření SimMechanics. Model obsahuje názornou animaci, která může být nápomocná při rozvoji technického uvažování studentů.

Součástí práce jsou další vytvořené modely se spouštěcím skriptem, který nastaví parametry modelu, otevře a spustí simulaci a vytvoří grafy zachycující charakteristické vlastnosti modelu. Všechny modely a pomocné skripty vytvořené v rámci této práce jsou dostupné na přiloženém CD a mohou být využity například k demonstračním účelům při studiu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KARBAN, Pavel. Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 978-80-251-1448-3.
- [2] Simulink. HUMUSOFT [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/simulink/>
- [3] Numerická matematika: Stiff soustavy. Přírodovědecká fakulta Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem: Katedra Fyziky [online]. 2009 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: http://physics.ujep.cz/~mlisal/nm_2-chomutov/fmoucka/pdf/odr6.pdf
- [4] Modelování elektromechanické soustavy - využití Fyzikálního modelování v prostředí MATLAB & Simulink. Humusoft [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/archiv/clanky/matlab/2008-automa-9-10/>
- [5] Simscape™. HUMUSOFT [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/aknihovny/simscape/>
- [6] Simscape. MathWorks [online]. 1994 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/datasheets/pdf/simscape.pdf>
- [7] Hardware-in-the-loop simulation. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Hardware-in-the-loop_simulation
- [8] MathWorks. In: Simscape™ User's Guide [online]. 1994 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: http://www.mathworks.com/help/releases/R2013b/pdf_doc/physmod/simscape/simscape_ug.pdf
- [9] GREPL, Robert. Modelování mechatronických systémů v Matlab SimMechanics. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2007. ISBN 978-80-7300-226-8.
- [10] SimMechanics™. HUMUSOFT [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/aknihovny/simmechanics/>
- [11] SimMechanics™. HUMUSOFT [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/aknihovny/simmechanics/>
- [12] SimElectronics™. In: HUMUSOFT [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/aknihovny/simelectronics/>

- [13] SimElectronics. MathWorks [online]. 1994 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/datasheets/pdf/simelectronics.pdf>
- [14] SimHydraulics®. HUMUSOFT [online]. 1991 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.humusoft.cz/produkty/matlab/aknihovny/simhydraulics/>
- [15] SimHydraulics. MathWorks [online]. 1994 [cit. 2014-05-22]. Dostupné z: <http://www.mathworks.com/products/datasheets/pdf/simhydraulics.pdf>
- [16] Fyzikální modelování: Využití pro počítačovou simulaci elektromotoru. In: ATP Journal [online]. 2008 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: http://www.atpjournals.sk/buxus/docs/casopisy/atp_2008/pdf/atp-2008-02-45.pdf
- [17] Modelování elektromechanické soustavy v Matlab a Simulink. In: FFC PUBLIC: časopisy a knihy navazující na tradiční české odborné literatury [online]. 2008 [cit. 2014-05-29]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/37720.pdf>
- [18] PEKAŘ, Libor. Kalendář cvičení a seminářů z Automatizace LS 2013/14. In: Výuka na FAI [online]. 2013 [cit. 2014-06-03]. Dostupné po přihlášení z: <http://vyuka.fai.utb.cz/mod/resource/view.php?id=8176>
- [19] PEKAŘ, Libor. Témata cvičení předmětu Teorie systémů – ZS 2013/2014. In: Výuka na FAI [online]. 2013 [cit. 2014-06-03]. Dostupné po přihlášení z: <http://vyuka.fai.utb.cz/mod/resource/view.php?id=12421>
- [20] NOSKIEVIČ, Petr. Modelování a identifikace systémů. Vyd. 1. Ostrava: Montanex, 1999, iv, 276 s. ISBN 80-722-5030-2.
- [21] MATLAB. Modeling a Hydraulic Actuation System. In: Youtube [online]. 05. 03. 2013 [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=wdmUNYhzShc>
- [22] DC Motor Position: Simulink Modeling. Control Tutorials [online]. 2012 [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=MotorPosition§ion=SimulinkModeling>
- [23] FRANKLIN, Gene F., J. David POWELL a Abbas EMAMI-NAEINI. Feedback Control of Dynamic Systems. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006, xvii, 910 s. ISBN 01-314-9930-0.

- [24] Control Tutorials. Inverted Pendulum: Simulink Modeling [online]. 2012 [cit. 2014-06-03]. Dostupné z: <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=InvertedPendulum§ion=SimulinkModeling>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HIL Hardware In the Loop

MBS Multi Body Systém

CAD Computer Aided Design

PWM Pulse Width Modulation

DOF Degree Of Freedom

DC Direct Current

PI Proportional Integral

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. č. 1 – Ukázka prostředí Matlab</i>	12
<i>Obr. č. 2 – Ukázka prostředí Simulink.....</i>	13
<i>Obr. č. 3 – Přehled popisovaných rozšíření [4]</i>	15
<i>Obr. č. 4 – Ukázka modelu v Simscape – elektrohydraulický serv ventil [5]</i>	16
<i>Obr. č. 5 – Ukázka Simscape bloků</i>	19
<i>Obr. č. 6 – Ukázka modelování v SimMechanics [11]</i>	21
<i>Obr. č. 7 – Ukázka animace 3D modelu [11]</i>	23
<i>Obr. č. 8 – Ukázka bloků v SimElectronics</i>	26
<i>Obr. č. 9 – Ukázka modelování v SimElectronics [12]</i>	27
<i>Obr. č. 10 – Ukázka modelu v SimHydraulics – hydraulický válec s tlumičem [14]</i>	28
<i>Obr. č. 11 – Ukázka bloků v SimHydraulics</i>	30
<i>Obr. č. 12 – Umístění spouštěcí ikony Simulink</i>	35
<i>Obr. č. 13 – Ukázka spuštění Simscape (vlevo) a Simulink (vpravo)</i>	36
<i>Obr. č. 14 – Grafické prostředí pro vytvoření nového modelu</i>	37
<i>Obr. č. 15 – Přehled elektrických bloků v Simscape</i>	38
<i>Obr. č. 16 – Přehled hydraulických bloků v Simscape</i>	39
<i>Obr. č. 17 – Přehled mechanických bloků v Simscape</i>	40
<i>Obr. č. 18 – Schéma vytvářeného modelu [8]</i>	41
<i>Obr. č. 19 – Základní mechanický model</i>	43
<i>Obr. č. 20 – Kompletní mechanický model propojený se Simulinkem</i>	44
<i>Obr. č. 21 – Zobrazení výsledků simulace pomocí bloku Scope</i>	44
<i>Obr. č. 22 – Schéma elektrického obvodu vytvořené v programu FidoCadJ</i>	45
<i>Obr. č. 23 – Základní model elektrického obvodu</i>	46
<i>Obr. č. 24 – Kompletní model elektrického obvodu propojený se Simulinkem</i>	46
<i>Obr. č. 25 – Schéma fyzikálního kyvadla [9]</i>	48
<i>Obr. č. 26 – Model fyzikálního kyvadla v SimMechanics</i>	49
<i>Obr. č. 27 – Nastavení bloku Body</i>	50
<i>Obr. č. 28 – Ukázka animace (vpravo) a výstup bloku Scope (vlevo)</i>	51
<i>Obr. č. 29 – Srovnání přechodových charakteristik</i>	53
<i>Obr. č. 30 – Závislost proudu v modelu elektrického obvodu</i>	54
<i>Obr. č. 31 – Závislost napětí v modelu elektrického obvodu</i>	54
<i>Obr. č. 32 – Schéma hydraulického modelu [21]</i>	55

<i>Obr. č. 33 – Model dvoucestného hydraulického ventilu v SimHydraulics</i>	<i>56</i>
<i>Obr. č. 34 – Závislost pozice pístu na čase v modelu dvoucestného ventilu</i>	<i>57</i>
<i>Obr. č. 35 – Schéma DC motoru [22]</i>	<i>57</i>
<i>Obr. č. 36 – Model DC motoru v Simscape</i>	<i>58</i>
<i>Obr. č. 37 – Závislost proudu na DC motoru při jednotkovém skoku</i>	<i>59</i>
<i>Obr. č. 38 – Závislost otáček DC motoru při jednotkovém skoku</i>	<i>59</i>
<i>Obr. č. 39 – Schéma dvojitého kyvadla [9]</i>	<i>60</i>
<i>Obr. č. 40 – Model dvojitého kyvadla vytvořený v SimMechanics</i>	<i>61</i>
<i>Obr. č. 41 – Nelineární chování dvojitého kyvadla</i>	<i>61</i>
<i>Obr. č. 42 – Schéma inverzního kyvadla [23]</i>	<i>62</i>
<i>Obr. č. 43 – Model inverzního kyvadla na vozíku vytvořený v SimMechanics</i>	<i>63</i>
<i>Obr. č. 44 – Závislost polohy kyvadla na čase</i>	<i>64</i>
<i>Obr. č. 45 – Závislost pozice vozíku na čase</i>	<i>64</i>
<i>Obr. č. 46 – Závislost rychlosti vozíku</i>	<i>65</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I PŘEHLED FYZIKÁLNÍCH VELIČIN V SIMSCAPE

Všechny modely a spouštěcí skripty vytvořené v prostředí Matlab, Simulink a Simscape jsou dostupné na přiloženém CD.

PŘÍLOHA P I: PŘEHLED FYZIKÁLNÍCH VELIČIN V SIMSCAPE

Fyzikální veličina	Název jednotky	Zkratka jednotky v Simscape
Zrychlení	Gravitační zrychlení Země	gee
Látkové množství	Mol	mol
Úhel	Radián	rad
	Stupeň	deg
Úhlová rychlost	Otáčky za minutu	rpm
Elektrická kapacita	Farad	F
Elektrický náboj	Coulomb	c
Elektrická vodivost	Siemens	S
Elektrický proud	Ampér	A
Energie	Joule	J
	Britská termální jednotka	BtU
	Elektrovolt	eV
Síla	Newton	N
	Dyn	dyn
	Librová síla	lbf
Frekvence	Hertz	Hz
Indukčnost	Henry	H
Délka	Metr	m
	Palec	in
	Stopa	ft
	Míle	mi
	Yard	yd
Magnetický tok	Weber	Wb
Magnetická indukce	Tesla	T
	Gauss	G
Hmotnost	Kilogram	kg
	Libra	lmb
	Unce	oz
	Slug	slug
Tlak	Pascal	Pa

	Bar	bar
	Atmosféra	atm
	Libra na čtverečný palec	psi
Výkon	Watt	W
	Koňská síla	HP
Odpor	Ohm	Ohm
Teplota	Kelvin	K
	Stupeň Celsia	C
	Stupeň Fahrenheita	Fh
	Rankinův stupeň	R
Čas	Sekunda	s
	Minuta	min
	Hodina	hr
Rychlost	Metrů za sekundu	m/s
	Míle za hodinu	mph
	Stopy za minutu	fpm
	Stopy za sekundu	fps
Dynamická viskozita	Poise	Poise
	Reyn	reyn
Kinematická viskozita	Stokes	St
	Newt	Newt
Objem	Litr	l
	Galón (US)	gal
	Galón (UK)	igal
Napětí	Volt	V