

## I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Modelování jízdních vlastností elektromobilu Citroën Berlingo Electricque v MATLAB/Simulink
Jméno autora:	Bc. Martin Bína
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra elektrických pohonů a trakce
Oponent práce:	Ing. Jan Daliba
Pracoviště oponenta práce:	EPLAN ENGINEERING CZ

## II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

<b>Zadání</b>	<b>průměrně náročné</b>
<i>Diplomová práce se dle zadání má skládat ze čtyř částí. V první části měl student provést rešerši problematiky modelování elektromobilů, na kterou v části druhé navazuje model samotný. Třetí část se zabývá simulací chování elektromobilu při průjezdu různými jízdními cykly právě pomocí modelu vytvořeného v druhé části. Ve čtvrté závěrečné části porovná student výsledky simulace s údaji naměřenými na vozidle Citroën Berlingo Electricque.</i>	

<b>Splnění zadání</b>	<b>splněno s menšími výhradami</b>
<i>Student rozčlenil svou diplomovou práci do 5 celků, které na sebe navazují. První část se zabývá elektromobilitou obecně, definuje základní pojmy, popisuje různé varianty pohonu a možnosti jeho napájení. Dále popisuje historii i současný stav trhu s elektromobily. Část druhá pak popisuje elektromobil Citroën Berlingo Electricque – elektromobil, který bude simulován. K těmto teoretickým částem mám dvě výhrady. První je příliš obecný popis variant pohonu i napájení a druhá je absence rešerše problematiky modelování elektromobilů, což bylo požadováno v zadání. Naopak je zde přehledně zpracované porovnání základních parametrů v současné době prodávaných elektromobilů. Třetí část popisuje tvorbu modelu elektromobilu a simulačního prostředí v programu MATLAB/Simulink. Začíná kapitolou věnovanou jízdním cyklům používaným pro měření spotřeby v různých částech světa. Následuje popis dílčích částí modelu elektromobilu a fyziky na pozadí pohybu elektromobilu. V závěru student definuje výpočet mechanických a elektrických výkonů, spotřebu elektromobilu a účinnost přeměny elektrické energie na mechanickou. Čtvrtá část obsahuje výstupy ze simulace jízdy elektromobilu po definovaných jízdních cyklech a shrnuje a hodnotí jízdní výkony a spotřeby, kterých simulovaný elektromobil dosáhl. Poslední pátá část porovnává hodnoty naměřené na reálném elektromobilu s výstupem ze simulace při průjezdu stejného rychlostního profilu. Bohužel porovnání bylo provedeno na velmi krátkém jízdním cyklu, který neodpovídal žádnému z cyklů předem v práci definovaných a simulovaných. V závěru student shrnuje obsah práce a bilancuje přínos rekuperace v městském a mimoměstském provozu.</i>	

<b>Zvolený postup řešení</b>	<b>částečně vhodný</b>
<i>Hlavním bodem zadání této diplomové práce bylo vytvoření modelu elektromobilu a simulačního prostředí v programu MATLAB/Simulink. Student model rozčlenil do čtyř bloků. V prvním bloku jsou uloženy různé jízdní cykly, mezi kterými lze vybírat a výstupem je požadovaná rychlost, která je přenesena do druhého bloku – modelu elektromobilu samotného. Zde se nejprve z rozdílu požadované a skutečné rychlosti určí moment nutný pro jízdu elektromobilu po definovaném cyklu. Tento blok simuluje řidiče elektromobilu. Jak správně diplomant poznamenává, z požadovaného momentu je pro řízení motoru nutné určit proud kotvy (vytvořený model uvažuje i odbuzování motoru). Tento proud je vstupem do regulátoru proudu kotvy. Regulátor proudu buzení je řešen dvoustupňově, nejprve je vypočítána žádaná hodnota proudu buzení s</i>	

přihlednutím k aktuálnímu napětí na kotvě a ta je následně vstupem do regulátoru proudu buzení. Výstupy obou regulátorů jsou napětí kotvy / buzení.

Tato napětí jsou přímo přivedena na model stejnosměrného cize buzeného motoru. Zde mám největší výtku k modelu, neboť není žádným způsobem modelován měnič realizující výstup regulátoru. Není zde nijak simulována metoda získání potřebného napětí z napětí baterií. Z měniče je uvažována pouze jeho účinnost, což považuji za přílišné zjednodušení.

V modelu stejnosměrného motoru jsou vypočteny skutečné hodnoty proudů, které jsou použity na vstupech regulátoru, indukované napětí a hnací moment, který je vstupem do třetí části modelu – simulace pohybu elektromobilu.

Kladně hodnotím, že model elektromobilu obsahuje simulaci baterií, takže všechny proudy jsou vždy kalkulovány na základě aktuálního napětí, se započtením úbytků a nikoli z hodnoty jmenovité.

Blok simulující pohyb elektromobilu uvažuje jízdní odpory prostředí – konkrétně valivý odpor (na rychlosti nezávislý) a odpor aerodynamický (závislý na kvadrátu rychlosti). Neuvažuje vnitřní tření v ložiscích, které je také závislé na rychlosti pohybu.

Podíl síly, která nezpůsobuje zrychlení vozidla, ale navýšení jeho vnitřní kinetické energie uložené v setrvačných rotujících hmotách není simulován, ale určen jako 3% bez uvedení zdroje této hodnoty.

Oceňuji vyřešení bloku brzdy.

Poslední blok modelu slouží k výpočtu okamžitého elektrického a mechanického výkonu a k určení spotřeby a účinnosti elektromobilu.

Další významnou část práce mělo tvořit porovnání simulovaných průběhů s průběhy skutečně naměřenými. Toto porovnání proběhlo na velmi krátkém cyklu a s jiným napájením, takže porovnání není směrodatné.

#### Odborná úroveň

### D - uspokojivě

Model elektromobilu navržený v rámci hodnocené diplomové práce obsahuje několik zjednodušení, která považuji za přílišná. Zejména jde o absenci simulace výkonového měniče kotevního i budícího obvodu trakčního motoru. Další zjednodušení je v zanedbání části jízdních odporů a fixním podílu energie vozidla uložené v rotujících hmotách.

Výtku mám i k části porovnání simulace s naměřenými průběhy. Zde mohl být použit delší cyklus s více úseky zrychlování a zpomalování pro porovnání výsledků simulace rekuperace se skutečným stavem.

#### Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

### B - velmi dobře

Po jazykové stránce je práce psána srozumitelně, používá správných pojmů a je zpracována přehledně s návazností kapitol.

Výtku mám k vloženým blokovým schémátům. Jejich kvalita je příliš nízká, takže ani při zvětšení na monitoru počítače nejsou popisy veličin čitelné. Dále v některých vzorcích chybí znaky integrálu či závorky.

Po formální stránce práce obsahuje všechny potřebné seznamy a odkazy.

#### Výběr zdrojů, korektnost citací

### C - dobře

Student využil doporučené zdroje ze zadání práce a přidal několik dalších akademických prací zabývajících se danou problematikou. Velkou část zdrojů tvoří webové prezentace výrobců elektromobilů a odkazy na Wikipedii, což nelze vždy považovat za spolehlivý zdroj.

Vzhledem k absenci řešerše problematiky modelování elektromobilů mohlo být více zdrojů právě z této oblasti.

Zdroje informací jsou však v práci označeny přehledně a jasně, včetně zdrojů použitých obrázků.

#### Další komentáře a hodnocení

V práci jsou přehledně shrnuté výsledky simulace průjezdů definovaných cyklů, ovšem chybí mi hlubší zamyšlení a analýza těchto dat, případně návrh možného dalšího využití modelu elektromobilu. Ocenil bych větší zaměření na porovnání naměřených průběhů se simulací a její následnou optimalizaci. Definované jízdní odpory úplně neodpovídají realitě a mohly být relativně jednoduše určeny experimentálně.

### **III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE**

Při hodnocení této práce beru v potaz, že jejím hlavním cílem bylo vytvoření modelu elektromobilu a simulačního prostředí v programu MATLAB/Simulink. Tohoto bylo s výše popsány zjednodušeními dosaženo. Práce dále přehledně shrnuje různé jízdní cykly používané pro měření spotřeby motorových vozidel a obsahuje praktickou část porovnání naměřených dat se simulovanými průběhy.

Otázky k obhajobě:

1. Úvodní část práce věnujete různým druhům pohonů. Popište prosím rozdíl v řízení BLDC a třífázového synchronního motoru.
2. V práci definujete podíl energie uložené v rotačních hmotách jako 3% z celkové kinetické energie. Jak jste tento poměr určil?
3. Stručně popište možnosti modelování popisovaného měniče kotvy (half-bridge).

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm C - dobře.

Datum: 8.6.2016

Podpis: