

Elektrická výzbroj sportovního trenažeru

Jaroslav Dragoun

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

dragounj@kev.zcu.cz

Electrical Equipment of Sporting Simulator

Abstract – This paper describes development of stationary bike, which is able to produce and store electrical energy. Device consist of BLDC motor, used as generator, connected to stationary bike and power electronics managing the flow of the energy. Electrical energy from the generator can be stored in battery, used to supply external devices or as the last option “burned” in power resistor.

Keywords – Buck-Boost; DC/DC converter; Electronic stationary bike; Household electric plant

I. ÚVOD

Na trhu dostupné rotopedy vytvářejí odpor vůči šlapání většinou využitím přeměny kinetické energie na tepelnou. Připojením generátoru elektrické energie k rotopedu lze energii vytvořenou šlapáním, buď uložit do baterií, nebo ihned spotřebovat na provoz externě připojených elektrických zařízení. Toto řešení má i další výhodu v tom že lze obtížnost šlapání rychle a jednoduše měnit z nějakého nadřazeného řídicího elektronického systému.

II. SEZNÁMENÍ S PROBLÉMEM

Výchozím bodem pro celý projekt byl existující prototyp první verze zařízení, rotoped osazený BLDC motorem určeným původně pro elektrokolo. Tento motor byl na rotopedu využit pouze jako generátor a proto tak bude dále v textu označován. V první fázi vývoje byl generátor na elektrické straně zatížen pouze pulzním měničem odporu, který umožnil řízený odběr energie z generátoru, a tím řídil i tréninkovou zátěž cyklisty. Následující měření pak přinesla užitečná data, použitá v simulacích a návrhu celkové koncepce nového zařízení. Měření například ukázala, že je třeba na výstupu z generátoru počítat s velkým rozptylem napětí, jelikož to je přímo úměrné otáčkám generátoru, a tedy fyzické kondici uživatele.

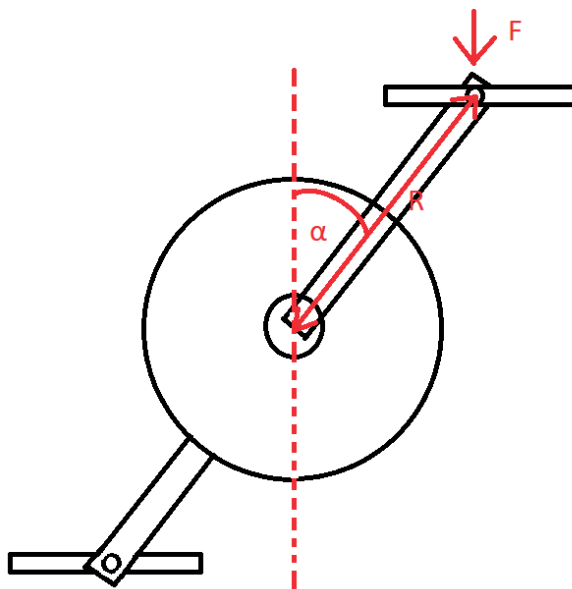
III. SIMULACE A NÁVRH ŘÍDICÍHO SOFTWARE

Vývoj simulací probíhal současně s návrhem hardwaru zařízení, protože bylo třeba zaručit nejen jeho funkčnost, ale důraz byl kladen také na výrobní náklady spojené s možnou budoucí sériovou výrobou. Cílem simulací bylo otestovat nejen elektrickou výzbroj, ale také celé zařízení včetně mechanické částí a vlivu uživatele. Z důvodu složitosti celého systému a toho, že jednotlivé děje probíhají s řádově odlišnými časovými konstantami, byly simulace rozděleny na část mechanickou a elektrickou. Na základě výsledků z těchto simulací byl nakonec vytvořen celkový model, kde bylo možno testovat nadřazené řízení toků energií.

A. Mechanická část modelu

V této části je hlavní důraz kladen na vytvoření modelu, který by co nejvíce odpovídal lidskému chování. Nejdůležitějším parametrem je změna rychlosti šlapání v závislosti na změně velikosti zatížení. Dále je také v simulaci zahrnut vliv polohy pedálů na velikost vytvářeného točivého momentu [1]. V simulaci je vycházeno z předpokladu, že uživatel působí na pedály silou, která směřuje kolmo k zemi, proto se v závislosti na poloze pedálů mění efektivně využitá délka kliky.

$$M = F \cdot R \cdot \sin(\alpha) \quad (1)$$



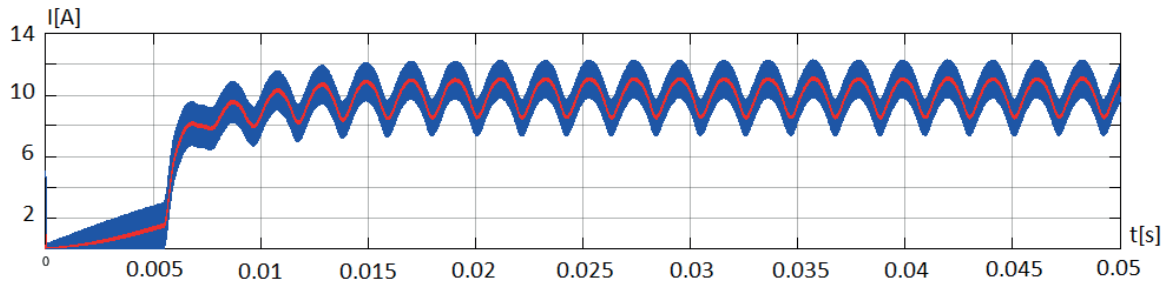
Obrázek I. Závislost točivého momentu vytvářeného cyklistou na poloze klik pedálů

B. Elektrická část modelu

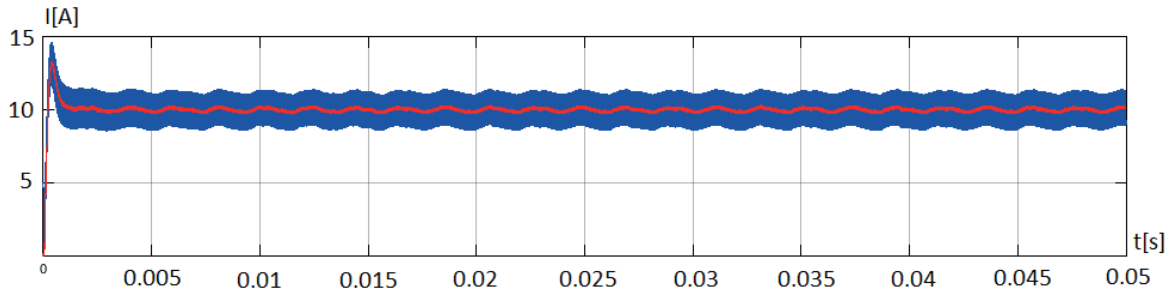
V této části byl vytvořen model celého měniče řídicího odběr energie z generátoru včetně regulačních a řídicích algoritmů. V simulaci je možno sledovat vliv mnoha parametrů, které ovlivňují chod měniče, jako je spínací frekvence, rychlost výpočtu regulačního zásahu nebo parametry pasivních výkonových prvků obvodu. Největší přínos této části modelu byl při ladění regulátoru nabíjecího proudu baterie a jeho doplnění o feed-forward vazbu, která zrychlila reakci regulátoru a odstranila vliv zvlnění napětí generátoru, jak je vidět na obrázcích II a III.

C. Celkový model zařízení

Vzhledem k vysoké spínací frekvenci výkonového obvodu byla jeho simulace náročná na výpočetní výkon a nebylo možné ji použít pro vývoj nadřazeného řízení. Nadřazené řízení řeší například ochranu proti přebití. Děj, který i po optimalizaci (snížení kapacity baterie) trvá desítky vteřin. Proto byl model výkonové elektroniky, po ověření správného fungování, zjednodušen. Po zjednodušení byl model výkonového obvodu spojen s modelem mechanické části a využit pro vývoj nadřazeného řízení, které se stará o rozdělení toků energie. Například v již zmíněném stavu, kdy hrozí přebití baterie.



Obrázek II. Nabíjecí proud bez vazby feed-forward



Obrázek III. Nabíjecí proud s vazbou feed-forward

IV. VÝVOJ HARDWARU

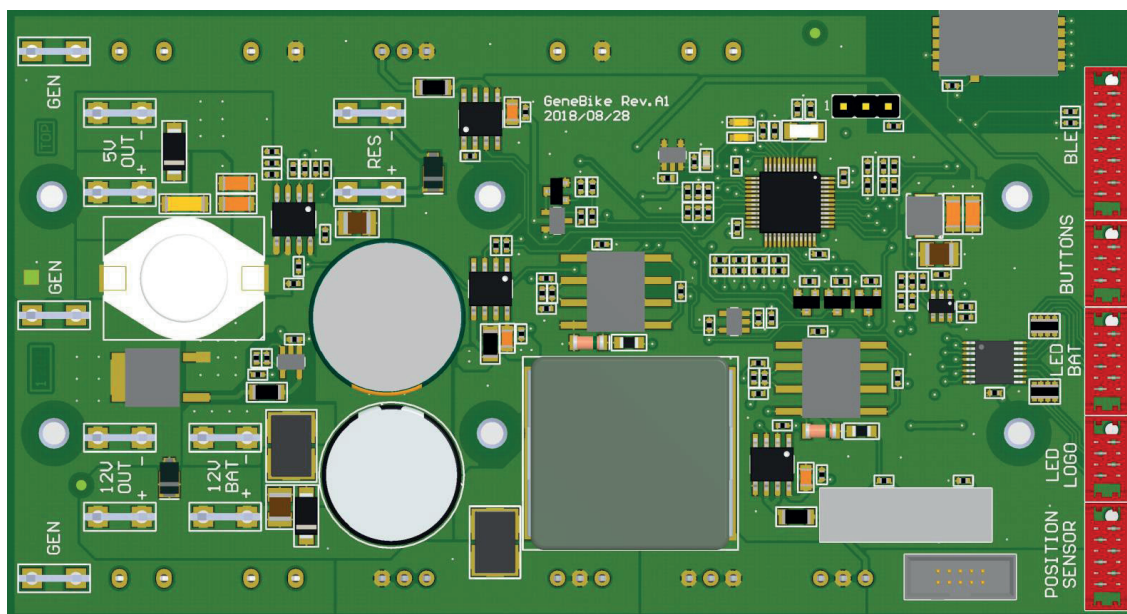
Hlavní část elektrické výzbroje, což jsou výkonové obvody a řídicí elektronika je uložena na společné DPS. Jedná se o čtyřvrstvou DPS, tloušťka vnitřních vrstev je 35 μ m a vnějších 18 μ m. Celá DPS je připevněna k rámu rotopedu pomocí chladiče, což napomáhá odvodu tepla.

D. Výkonová část

Na základě výsledků simulací a praktických testů proběhlo dimenzování prvků výkonového obvodu. Zvláštní péče byla věnována volbě akumulční indukčnosti nabíjecího obvodu, která tvořila výraznou část ceny a velikosti elektrické výzbroje zařízení. Podstatné zmenšení zvolené indukčnosti dovolilo využití feed-forward vazby regulátoru.

E. Řízení

Pro řízení výkonového obvodu byl využit mikro kontrolér STM32F042, ve kterém byly pomocí jazyka C implementovány řídicí a regulační algoritmy vytvořené za pomoci simulačního modelu. Jelikož se jedná o velmi jednoduchý typ kontroléru, jeho použití způsobilo pomalý výpočet regulačního zásahu způsobený z velké části pomalým A/D převodníkem s tímto ale bylo počítáno již v simulacích a proto se nejednalo o vážnou komplikaci. Další nevýhodou toho kontroléru je absence podpory operací v plovoucí řádové čárce, proto bylo nutné pro urychlení regulačního zásahu převést celý regulační algoritmus do pevné řádové čárky.



Obrázek IV. 3D model DPS v programu Altium Designer

V. ZÁVĚR

V rámci práce byl vyvinut simulační model a elektrická výzbroj cyklistického trenažeru umožňujícího rekuperaci elektrické energie vyrobené během tréninku. Vyvinutý simulační model posloužil, jako podklad pro návrh hardwaru a firmwaru, dále umožnil návrh optimalizace průběhu zátěže dle polohy pedálů, díky čemuž je možné zmenšit rozměrný setrvačnick. A v poslední řadě posloužil k vývoji energy managementu celého zařízení v závislosti na stavu nabití baterií a připojených elektrických zařízení. Koncept celého zařízení byl ověřen na funkčním prototypu zařízení, na kterém byla ověřena funkce nabíjecího obvodu, spínaného odporu, výstupu 5V, optimalizace zátěžného momentu a energy managementu. Další výzvou v projektu je přesné určení stavu nabití baterie, ve kterém se nedá jednoduše vyjít z jejího napětí a úprava prototypu pro sériovou výrobu.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2018-005 a projektu SGS-2018-009: Výzkum a vývoj perspektivních technologií v elektrických pohonech a strojích III.

LITERATURA

- [1] ABBISS, Chris, PEIFFER, Jeremiah a LAURSEN, Paul. Optimal cadence selection during cycling. *International sportmed journal*. March 2009. s. 1-15.