

# Robustna regulacija hitrosti električnega tovornega kolesa z združenim toplotnim modelom MPC baterije

Mehmet Onur Genç

Tehniška univerza v Bursi, Oddelek za mehatroniko, Turčija

Učinkovitost e-mikromobilnosti se je močno povečala na različnih področjih prevoza in zato pridobiva na pomenu tudi energijska učinkovitost vožnje električnih tovornih koles z optimizacijo izkoriščanja navora. Obeta se, da bodo električna tovorna kolesa prevzela vse več nalog na področju prevoza težkih tovorov. Članek obravnava razvoj izboljšane modela za regulacijo vrtilne frekvence motorjev na podlagi toplotnega modela za modelno prediktivno vodenje (MPC) litij-ionskih baterij, ki je bil zasnovan na podlagi eksperimentalnih podatkov z namenom doseganja zahtevanih toplotnih razmer v omenjenih baterijah.

Vhodni eksperimentalni podatki za integrirani enorazsežnostni model MPC obsegajo sile na pedalih v odvisnosti od električne napetosti/toka. Toplotni model MPC je bil opredeljen na podlagi združenega toplotnega modela. Model je bil v naslednjem koraku uporabljen za regulacijo hitrosti v smeri vožnje kot del modela MPC za regulacijo navora motorja v prisotnosti neznanih motenj na cesti. Rezultati regulacijskega modela so bili nato analizirani s primerjavo parametrov MPC, kot so faktorji teže in horizont napovedi. V ta namen je predstavljen predlog novega modela regulacije hitrosti električnega tovornega kolesa po pristopu združenega toplotnega modela MPC baterije. Integrirani model za robustno regulacijo hitrosti upošteva energijo in življenjski cikel baterije, ne zajema pa zahtev glede zmogljivosti vožnje. Študija je bila sestavljena iz dveh korakov – eksperimentalnih preizkusov in razvoja regulacijskega modela. Eksperimenti so obsegali toplotne in elektromehanske preizkuse za pridobitev vhodnih podatkov za razvoj regulacijskega modela. Pri tem so bile za potrebno raznolikost in zajem negotovosti za robustno regulacijo preučene toplotne razmere pri dveh baterijah z različno kapaciteto. V drugem koraku so bile opravljene meritve sil na pedalih in električnega toka/napetosti pri različnih naklonih in stanjih vozišča.

Eksperimentalno pridobljeni podatki so bili uporabljeni pri pripravi integriranega robustnega regulacijskega modela MPC. Ta je predstavljen v obliki odziva na stopnico, podatkov temperaturnih zaznaval in diagramov motornega navora. Za opis in simulacijo motenj na cesti pri integriranem modelu MPC so bili uporabljeni eksperimentalni podatki. Vhodna veličina je navor motorja, ki je cilj optimizacije ob upoštevanju motenj kot so sila na pedalih, kotalni upor plaščev, naklon, zračni upor itd. Simulacije okolja eksperimentalnih preizkusov z regulacijskim modelom vključujejo odziv na stopnico, toplotni model in vrtilno frekvenco motorja v intervalu 10 sekund, 30 minut in 30 sekund. Model prinaša tudi cenovno ugodne priložnosti za podaljšanje življenjske dobe litij-ionskih baterij. Predlagani regulacijski model se lahko vključi v popolnoma elektrificirana vozila za e-mikromobilnost, kjer so pomembne toplotne razmere v bateriji in stroškovna učinkovitost.

Študija obsega eksperimentalni del in razvoj modela. Eksperimentalno je bila določena kapaciteta baterije v pogojih internega segrevanja pri različnih temperaturah okolice. Scenariji uporabe modela vključujejo fino nastavljanje parametrov za uravnavanje življenjskega cikla baterije in rabe energije v kontekstu termičnega staranja baterij. Regulacijski model je zasnovan na podlagi združenega toplotnega modela z napovedovanjem motenj na cesti ob dani obtežbi. Novi model robustne regulacije baterije in hitrosti v smeri vožnje za regulator MPC trikolesnega električnega tovornega kolesa temelji na eksperimentalno pridobljenih podatkih. Elektromehanski model je bil razvit na podlagi podatkov o toplotnih razmerah v litij-ionskih baterijah in odvisnosti sil na pedalih od električnega napetosti/toka. Za ustvarjanje referenčnih krivulj in odpravo negotovosti so bile izbrane najbolj pogoste kapacitete baterij. Za povečanje robustnosti modela je bila opravljena primerjava faktorjev teže in horizonta napovedi, s čimer je mogoče nadzorovati učinkovitost regulacijskega modela v fazi simulacij.

**Ključne besede:** električno tovorno kolo, e-mikromobilnost, MPC, robustna regulacija, motnje na cesti, združen toplotni model, modeliranje prostora stanj