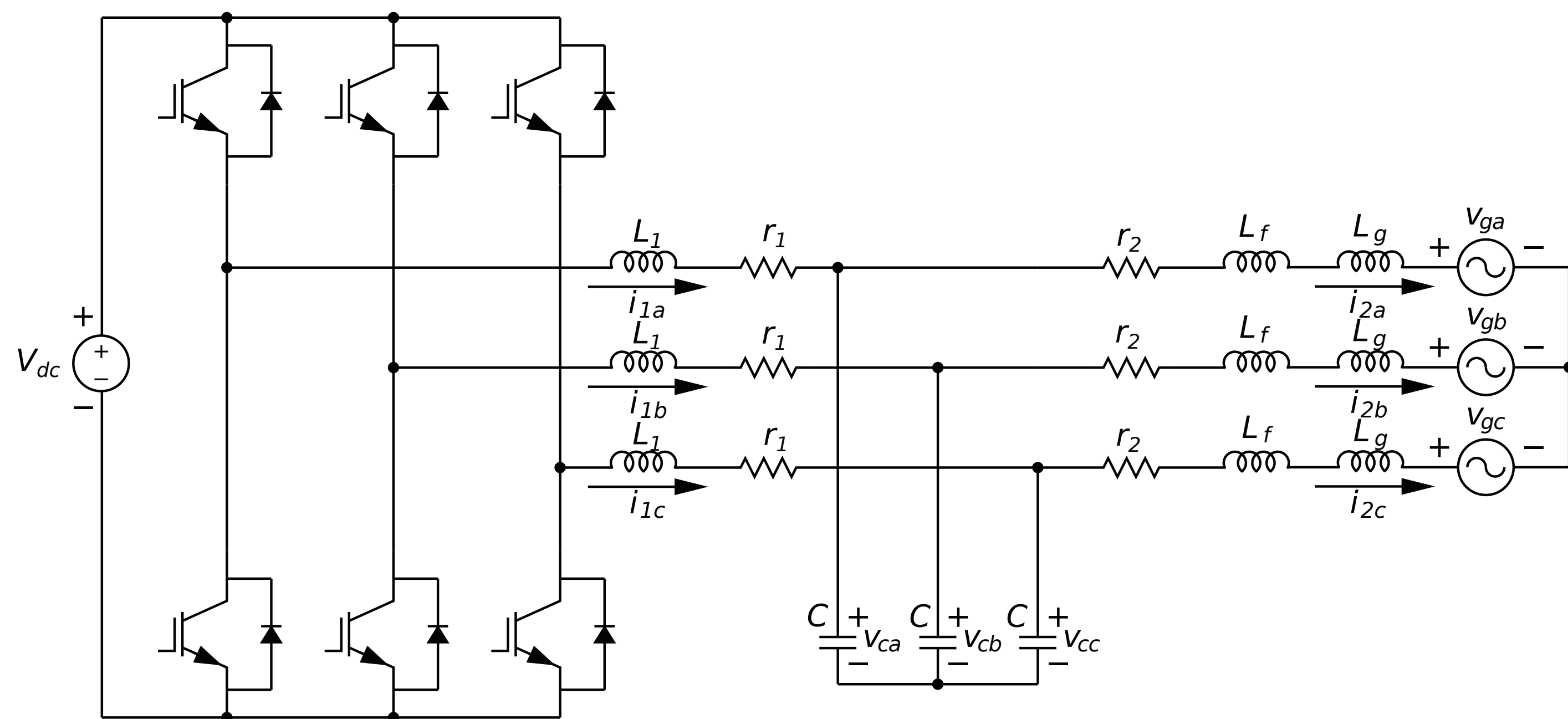


1. Uvod

Modelsko prediktivno upravljanje (MPC) afirmiralo se kao metoda koja uz povećanje učinkovitosti mrežnih pretvarača može i sustavno obuhvatiti upravljačke i operativne zahtjeve u proces dizajniranja upravljačkog sustava. Postupak upravljanja se sastoji od iterativnog rješavanja optimizacijskog problema na pomičnom horizontu čime se implicitno uvodi povratna veza u sustav upravljanja. Glavna prepreka široj primjeni modelskog prediktivnog upravljanja u mrežnim pretvaračima je značajan računalni teret samog MPC algoritma.

2. Opis problema

Pretvarači snage predstavljaju električne uređaje koji obavljaju pretvorbu električne energije jedne razine napona, struje ili frekvencije u drugu razinu koristeći pritom poluvodičke elektroničke sklopke.



Slika 1: Dvorazinski mrežni pretvarač s LCL filterom

Cilj je razviti algoritam robusnog modelskog prediktivnog upravljanja zasnovanog na invarijantnim skupovima za upravljanje mrežnim pretvaračem snage, a koji je moguće izvoditi u realnom vremenu na ugradbenim računalnim platformama.

3. Metodologija

Kako je ključan zahtjev na MPC algoritam za upravljanje pretvaračima snage brzina izvođenja, umjesto rješavanja optimizacijskog problema u realnom vremenu koristi se hibridni pristup temeljen na invarijantnim skupovima. Pri tome se invarijantni skupovi izračunavaju unaprijed, dok se jednostavan optimizacijski problem s ograničenjima na stanja sustava rješava u realnom vremenu.

Upravljački invarijantni skup \mathcal{I} je skup u prostoru stanja pri čemu za svaki element skupa postoji upravljačka akcija koja će stanje sustava zadržati u rečenom skupu. Na temelju invarijantnog skupa \mathcal{I} sustava određuje se familija predskupova \mathcal{I}_j sa svojstvom da je stanje iz prethodnog skupa s jednom upravljačkom akcijom moguće dovesti u sljedeći.

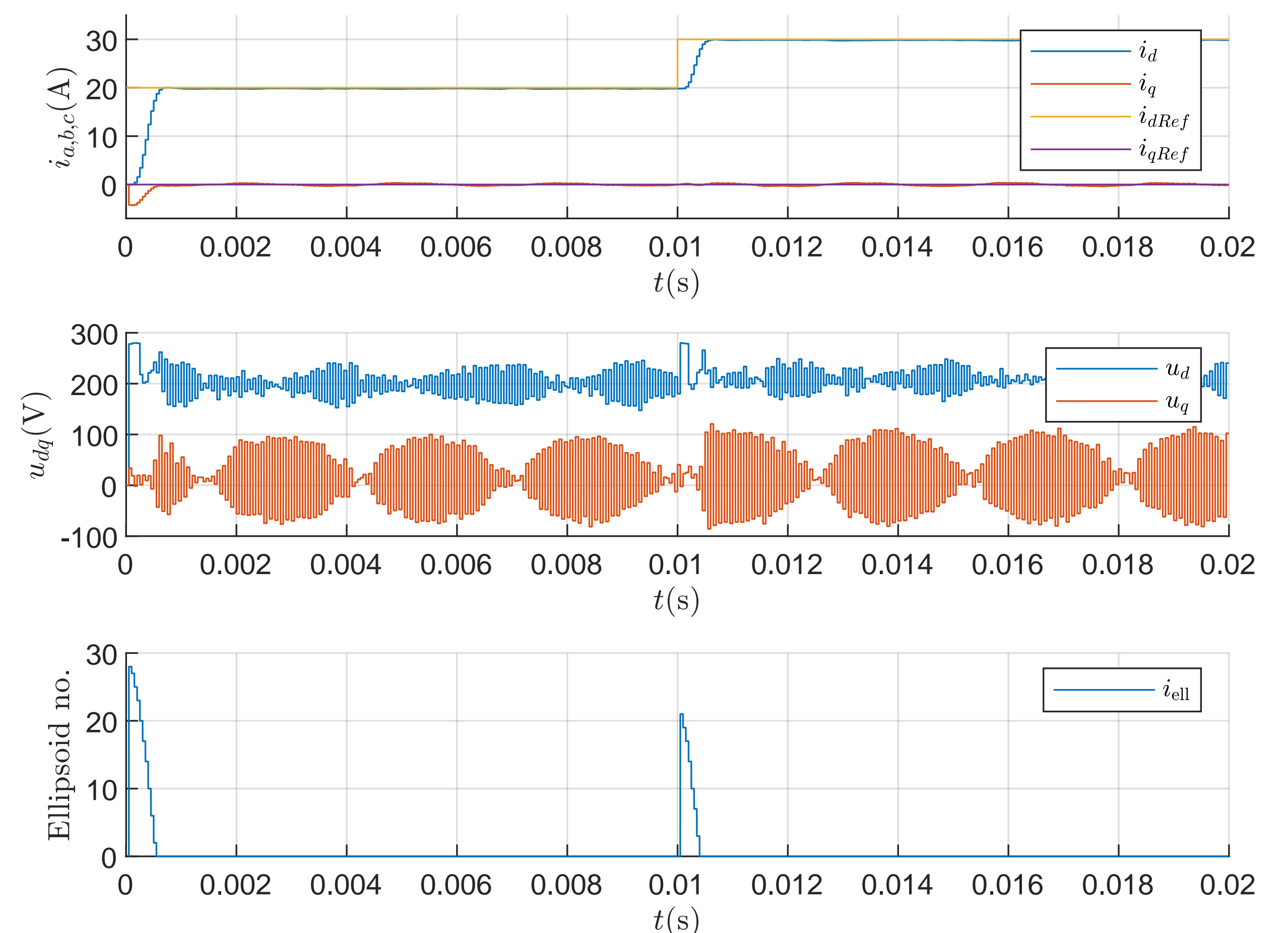
Za efikasno rješavanje optimizacijskog problema u realnom vremenu koristi se brzi gradijentni postupak, dok se dodatno ubrzanje izvođenja algoritma realizira korištenjem FPGA sklopovlja.

Broj koraka	Slices	LUTs	DSP
1	18 987 (56%)	60 508 (44%)	363(49%)
4	25 801 (76%)	75 155 (55%)	453(61%)
7	29 409 (87%)	89 669 (66%)	543(73%)

Tab. 1: Iskorišteni resursi FPGA sklopova u ovisnosti o broju koraka brzog gradijentnog postupka

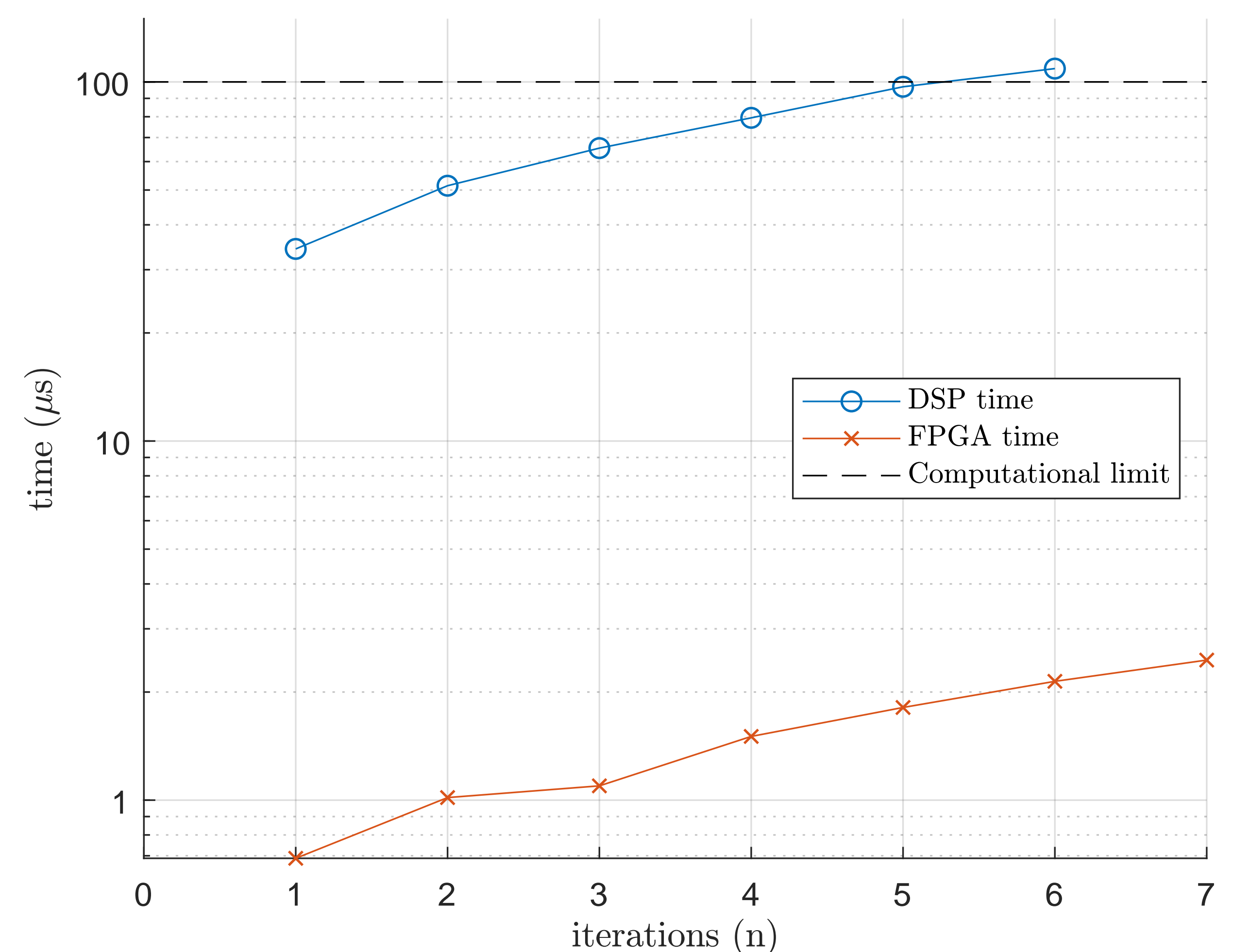
4. Rezultati

Algoritam prediktivnog upravljanja dovodi mrežni pretvarač u zadanu stanje u konačnom broju koraka poštujući dana ograničenja na stanja i upravljački signal.



Slika 2: Praćenje reference struje u dq koordinatnom sustavu (gore); upravljački signal (sredina); kretanje stanja sustava kroz invarijantne skupove (dolje)

Vrijeme izvođenja algoritma provjereno je u simulaciji; optimizacijski problem rješiv je na FPGA sklopovlju u vremenu od nekoliko mikrosekundi.



Slika 3: Usporedba vremena izvođenja implementacija na mikrokontroleru i FPGA sklopovlju u ovisnosti o broju koraka brzog gradijentnog postupka

5. Zaključak

Algoritam prediktivnog upravljanja zasnovan na invarijantnim skupovima pokazuje se prikladnim za upravljanje mrežnim pretvaračem; uz zadovoljavajuće vladanje sustava, zadovoljena su i sva ograničenja. FPGA implementacija algoritma je pogodna za izvođenje u realnom vremenu, a dizajn je moguće sintetizirati u komercijalnom FPGA uređaju srednjeg ranga (Tablica 1.).