

Pulzi na zahtevo v vlakenskih in hibridnih laserjih

Rok Petkovšek^{1,*} – Vid Agrež¹ – Jaka Petelin¹ – Luka Černe¹ – Udo Bunting² – Boštjan Podobnik³

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

²LPKF Laser & Electronics AG, Nemčija

³LPKF Laser & Electronics d.o.o., Slovenija

Pri visoko natančnih obdelavah se vse pogosteje uporabljajo orodja na osnovi laserjev. Z željo povečanja učinkovitosti procesa, uporabnosti orodja za različne procese obdelave materiala in hitrosti proizvodne linije je nastala potreba po visoko prilagodljivih laserskih sistemih sposobnih generiranja naprednih vzorcev in struktur. Še posebej pomembna je prilagodljivost laserskega sistema skenirnemu sistemu visokih hitrosti, kot sta poligonski in resonančni skener. Pri obeh je pomanjkljivost zmanjšana prilagodljivost pozicije laserskega žarka na račun hitrosti. To lahko kompenzira laser, ki omogoča generacijo pulzov ob točno določenem času s poljubno amplitudo in trajanjem. V industriji se za to že uporabljajo kontinuirani laserji, kjer z zunanjim modulatorjem oblikujemo laserske pulze. Problem takšne realizacije so relativno dolgi pulzi, kompleksna laserska glava in omejene izhodne moči. Redkeje se uporabljajo pulzni laserji, saj v splošnem delujejo stabilno zgolj pri konstantnih ponavljalnih frekvencah. Da lahko takšni generirajo stabilne pulze v poljubnih časih morajo imeti kompleksen sistem nadzora ojačenja.

V članku sta predstavljeni metodi s katerima se lahko učinkovito nadzira ojačenje oziroma načrpanost zgornjega laserskega nivoja med posameznimi laserskimi pulzi. Metodi omogočata, da laser generira pulze na zahtevo, pri čemer imajo pulzi stabilne parametre, ki se ne spreminjajo s spreminjanjem ponavljalne frekvence. Prva metoda uporablja modulacijo črpalne moči za generacijo ustreznega zaporedja pulzov iz laserskega oscilatorja velikih moči. Druga metoda uporablja kombinacijo dveh vzbujevalnih virov, primarnega in jalovega, ki vzbujata verigo laserskih ojačevalnikov črpanih s konstantno močjo.

Meritve stabilnosti parametrov pulzov na zahtevo so bile izvedene na treh eksperimentalnih postavitvah. Kompaktni laser s preklopom ojačenja je pokril območje vršnih moči okoli enega kW in trajanjem nekaj deset ns pri poljubnih ponavljalnih frekvencah. Napredna laserska postavitve je uporabljala zaporedje vlakenskih ojačevalcev, ki sta ga vzbujala dva laserska vira in je omogočala širok razpon spreminjanja trajanja laserskih pulzov. Preizkus uporabe tako generiranih pulzov na zahtevo je bil uspešno demonstriran na postaji za lasersko transferno tiskanje. Nadalje se je napredno lasersko postavitve nadgradilo s trdninskim ojačevalnikom in v primarnem vzbujevalnem viru lasersko diodo zamenjalo s fazno vklenjenim oscilatorjem. Namen nadgradnje je bil preizkus stabilnosti ps/fs pulzov na zahtevo.

S kompaktno postavitvijo laserja je bilo uspešno doseženo delovanje s pulzi na zahtevo od posameznega pulza do frekvence 1 MHz. Vršna moč pulzov je odstopala od povprečja za manj kot 1,5 % pri čemer njihovo trajanje ni odstopalo za več kot 0,7 %. Pri testu nelinearnega spreminjanja časovnega razmaka med pulzi se je pokazala nujnost kompenzacije ojačenja s pomočjo modulacije črpalnih diod.

Na napredni laserski postavitvi je bila hitrost modulacije preizkušena do nekaj deset MHz pri moči 200 W. Tako izoblikovani pulzi so imeli stabilno vršno moč in so skupaj s poligonskim skenerjem zagotovili uspešen prenos črnila na substrat pri procesu laserskega transfernega tiskanja.

Preizkus stabilnosti ps pulzov na zahtevo je bil narejen na nadgrajeni napredni laserski postavitvi. Način nadzora ojačenja s pomočjo jalovega vzbujevalnega vira med laserskimi pulzi se je izkazal za učinkovitega tudi v primeru ultrakratkih primarnih pulzov in uporabe dodatnega trdninskega ojačevalca. Doseženi se bili pulzi na zahtevo z energijami do 300 μ J in trajanjem 450 fs.

Predstavljeni rezultati kažejo, da je z ustreznim nadzorom ojačenja v laserskem sistemu mogoče doseči učinkovito delovanje pri poljubnih ponavljalnih frekvencah brez uporabe zunanjega modulatorja. Takšno delovanje pulznih laserjev je redkost in predstavljeni rezultati podpirajo razvoj hitrih laserskih obdelovalnih sistemov. Prednost predstavljenih rešitev je, da so lahko združene v enovit visoko prilagodljivi hibridni laserski sistem, ki bi omogočal natančno sinhronizacijo z novo generacijo hitrih poligonskih skenerjev, ki omogočajo ultrahitro laserske procese.

Ključne besede: pulzi na zahtevo, vlakenski laserji, nadzor ojačenja, poljubna ponavljalna frekvenca

*Naslov avtorja za dopisovanje: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za fotoniko in laserske sisteme, Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana, Slovenija, rok.petkovsek@fs.uni-lj.si