



PRAKTIČNA VERIFIKACIJA PERFORMANSI RAZVOJNOG MODELA CNC MAŠINE ZA LASERSKO GRAVIRANJE

Milan Živić

Tehnička škola, Kikinda, Republika Srbija, milan.zivic@gmail.com

Sadržaj: *Kompletna mehanička konstrukcija razvojnog modela CNC mašine za lasersko graviranje modelovana je u programskom paketu CATIA. Elektromotorni pogoni, karakteristike lasera i upravljačka elektronika veoma ozbiljno su proučeni pre praktične implementacije. Ovaj rad ima zadatak da očekivane rezultate i zaključke potvrdi kroz merenja i praktičnu verifikaciju performansi mašine.*

Ključne reči: *laser, graviranje, CNC, DSP.*

1. UVOD

Tek nakon detaljnih teorijskih analiza, može se pristupiti realizaciji, a zatim i praktičnoj verifikaciji performansi razvojnog modela CNC mašine za lasersko graviranje. Osnovni garant očekivanih odličnih karakteristika predstavljaju projektovane rezolucije i podaci koji su navedeni u tabeli 1. [1], [2].

Najvažniji cilj koji se postavlja konstruktoru razvojnog modela jeste postizanje željenog kvaliteta gravirane slike, uz minimalan utrošak vremena i energije. Sve ostale performanse mašine moraju biti podređene ostvarivanju pomenutog kriterijuma. Kvalitet slike procenjuje se brojem ostvarenih tačaka po jednom inču

(Dots Per Inch). Maksimalna teorijska vrednost iznosi 334 DPI, dok se očekuje rezolucija oko 300 DPI, kao posledica nesavršenosti zupčaste letve i njene relativno velike dužine. Brzina graviranja zavisi prvenstveno od tvrdoće materijala, mada je generalno limitirana mogućnostima samog lasera, tj. njegovom snagom i vremenom odziva.

U nastavku su prvo usvojeni kriterijumi na osnovu kojih se obavlja verifikacija performansi. Zatim su dati najbitniji rezultati praktičnih merenja. Na kraju su izvedeni konačni zaključci u pogledu ostvarenosti zahteva i mogućnostima daljeg unapređenja razvojnog modela mašine.

2. KRITERIJUMI VERIFIKACIJE

Potpuna ispravnost i funkcionalnost svih mehaničkih i električnih delova sistema se podrazumeva. Provera krajnjih i referentnih isključivača je takođe detaljno urađena za oba moda rada mašine.

Karakteristike laserskog uređaja ne mogu biti predmet verifikacije. One su potvrđene od strane proizvođača i predstavljaju pouzdane parametre koji se ne proveravaju.

Tbl. 1. *Projektovane performanse razvojnog modela mašine*

	X osa	Y osa
Motor	1600 imp/obr	800 imp/obr
Mehanizam	Zupčasta letva i zupčanik prečnika 40 mm	Kuglično zavojno vreteno koraka 32 mm
Rezolucija	78,5 μm	40 μm
Radna dužina	1500 mm	1300 mm
Max brzina	23 m/min	11,7 m/min
Max ubrzanje	1,57 m/s ²	0,8 m/s ²

Verifikacija performansi mašine zasnovana je na sledećim kriterijumima:

1. Tačnosti držanja zadate pozicije i rezoluciji kretanja X i Y ose,
2. Generisanju i tačnosti praćenja referentne trajektorije kretanja,
3. Vibracijama tokom kretanja, kao i potresima prilikom zaleta i zaustavljanja,
4. Ostvarenoj kompenzaciji mehaničkih zazora,
5. Tačnosti zadavanja i regulacije snage laserskog zraka,
6. Proveri PWM signala pri maksimalnoj brzini kretanja X ose, i
7. Pouzdanosti komunikacije (slanja i prijema podataka) između računara i Digitalnog Signal Procesora.

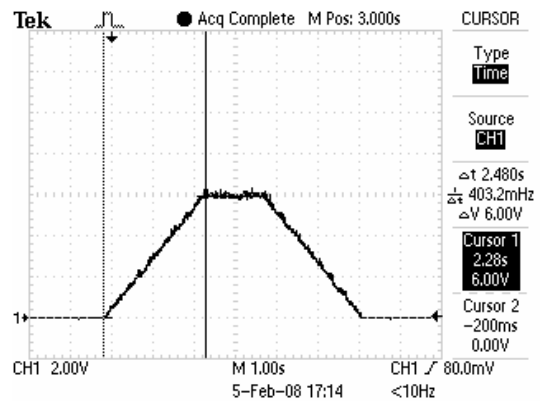
Ispunjenost kriterijuma 1. i 4. može se proveriti samo merenjem pomoću preciznih mehaničkih instrumenata. Vrednost zazora X ose je utvrđena i softverski eliminisana. Kod Y ose nema potrebe za kompenzacijom zazora vretena i matice, pošto tokom graviranja ja vertikalna osa ne menja smer kretanja. Kriterijum 3. se relativno jednostavno može zadovoljiti podešavanjem trajne struje motora posredstvom mikroprekidača na regulatoru [5]. Time se postiže optimalno prilagođenje potrebnog raspoloživog momenta vratila motora postojećem mehaničkom opterećenju. Kriterijumi 2., 5., 6. i 7. ispituju se elektronskim merenjima. Slede praktične provere trajektorije kretanja, zadate pozicije, upravljačkih signala drajvera motora, signala za regulaciju snage lasera i komunikacionih signala.

3. PRAKTIČNA MERENJA

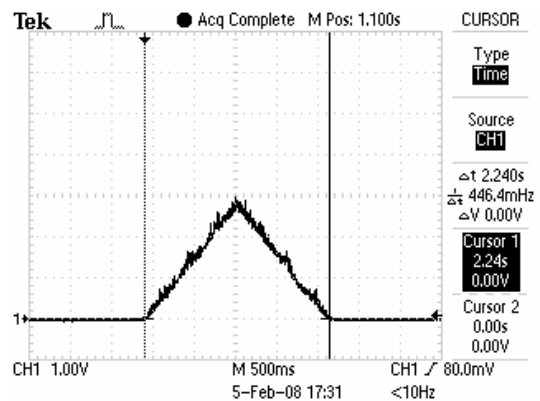
Snimanje svih odziva obavljeno je pomoću dvokanalnog digitalnog storidž osciloskopa propusnog opsega 60 MHz , *Tektroniks TDS 1002B*. Neelektrične veličine, poput brzine i pozicije vratila motora, prethodno su programski preskalirane, a zatim pretvorene u naponske signale korišćenjem 12 -to bitnog D/A konvertora *DAC1208*.

3.1. Trajektorija kretanja

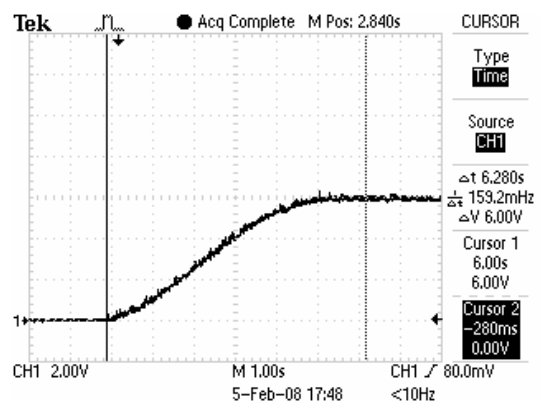
Uvažavajući nepostojanje zatvorene povratne sprege po brzini i poziciji, mogu se posmatrati samo željene trajektorije brzine i referentne pozicije. Smatra se da su stvarna brzina i pozicija gotovo identične zadatim vrednostima, pošto motori ni pod kakvim uslovima rada ne ispadaju iz sinhronizma. To znači da momentne mogućnosti koračnih motora u potpunosti zadovoljavaju sve dinamičke zahteve mašinskih osa i da ne dolazi do gubljenja koraka [4]. Slike 1. i 2. predstavljaju trapeznu i trougaonu trajektoriju za postizanje maksimalne brzine X ose na različitim željenim pozicijama. Evidentno je odlično poklapanje generisanih trajektorija sa zadatim parametrima kretanja. Na slici 3. može se uočiti parabolična promena referentne pozicije prilikom zaleta i zaustavljanja, što dodatno utiče na smanjenje mehaničkih oscilacija i potresa [7]. Funkcionisanje preciznog pozicioniranja prikazano je na slici 4., koja dokazuje postojanje očekivane tačnosti i stabilnosti koračanja.



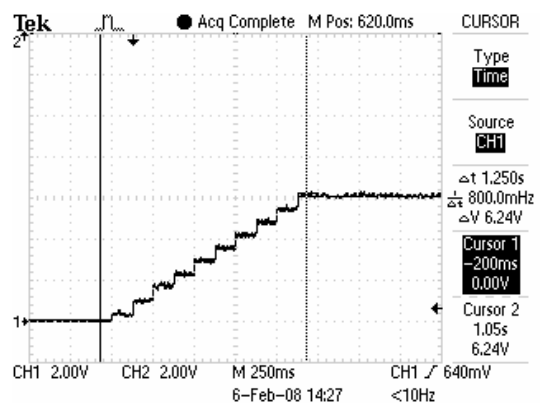
Sl. 1. Trapezna trajektorija brzine
($pozref = 20000\text{ imp}$, $V = 4880\text{ imp/s}$, $a = 2000\text{ imp/s}^2$)



Sl. 2. Trougaona trajektorija brzine
($pozref = 3000\text{ imp}$, $V = 4880\text{ imp/s}$, $a = 2000\text{ imp/s}^2$)



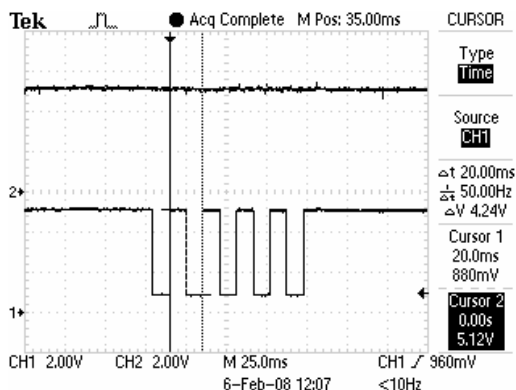
Sl. 3. Zauzimanje zadate pozicije
($pozref = 20000\text{ imp}$, $V = 4880\text{ imp/s}$, $a = 2000\text{ imp/s}^2$)



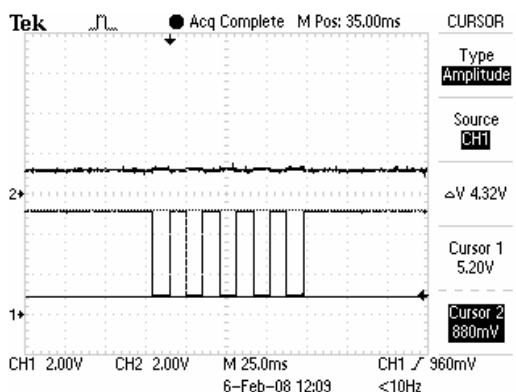
Sl. 4. Koračanje minimalnom brzinom
($pozref = 10\text{ imp}$, $V = 8\text{ imp/s}$, $a = 2000\text{ imp/s}^2$)

3.2. Upravljački signali regulatora koračnih motora

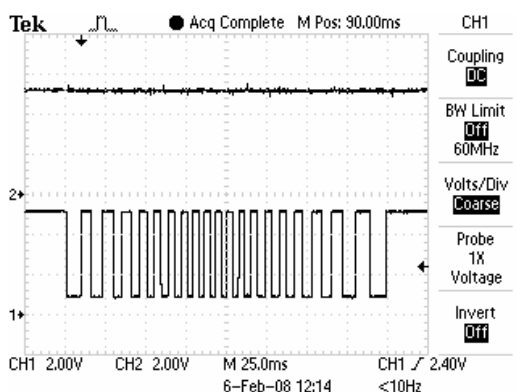
Na slikama 5. i 6. dati su DSP komandni signali [3] koji definišu broj koraka i smer kretanja koračnog motora (*CW* ili *CCW*). Perioda impulsa $T_{PULSE} = 20\text{ ms}$ idealno se poklapa sa postavljenom brzinom $V = 50\text{ imp/s}$. Parabolično napuštanje prethodne i zauzimanje naredne pozicije omogućeno je linearnom promenom frekvencije impulsa (slika 7.). Izgled odgovarajućih drajverskih signala, neposredno pre izlaza (*open collector* tranzistora) upravljača, prikazan je na slici 8. Primećuje se uticaj parazitnih kapacitivnosti na talasni oblik signala. One su posledica postojanja većeg broja štampanih elektronskih kola i njihovog međusobnog povezivanja pomoću trakastog kabla.



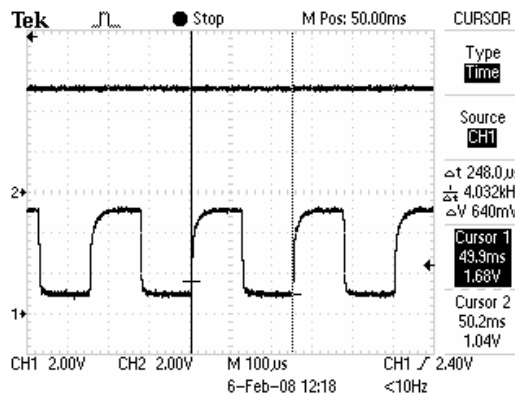
Sl. 5. DSP komandni signali - clockwise (pozref = 5 imp, $V = 50\text{ imp/s}$, $a = 2000\text{ imp/s}^2$)



Sl. 6. DSP komandni signali - counter clockwise (pozref = 5 imp, $V = 50\text{ imp/s}$, $a = 2000\text{ imp/s}^2$)



Sl. 7. DSP komandni signali - linearni zalet i kočenje (pozref = 20 imp, $V = 300\text{ imp/s}$, $a = 1000\text{ imp/s}^2$)



Sl. 8. Signali drajvera motora - smer kretanja i impulsi ($V = 4000\text{ imp/s}$)

3.3. Regulacija snage lasera

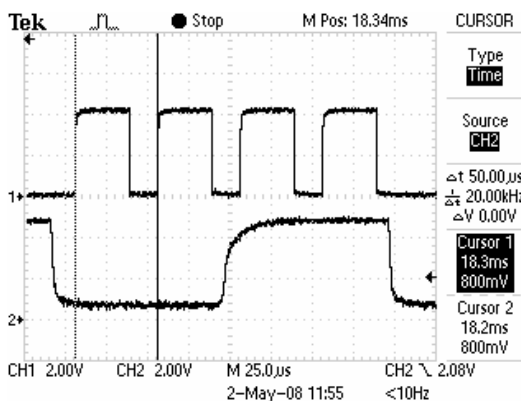
Noseća frekvencija *PWM* signala, koji reguliše snagu lasera prilikom graviranja bele tačke, unapred je određena i iznosi $f_{PWM} = 20\text{ kHz}$ (slika 9.). Crna tačka zahteva prelaz lasera u *standby* režim, odnosno primenu *tickle* impulsa frekvencije $f_{TICKLE} = 5\text{ kHz}$ (slika 10.) i trajanja $T_{TICKLE} = 1\text{ µs}$ (slika 11.).

Emitovana energija laserskog zraka zavisi samo od faktora *ispune PWM* signala (5 – 95 %), pošto procesor uvek generiše tačno 4 upravljačke periode po tački ($4 * T_{PWM} = 200\text{ µs}$). Veoma važno je ograničiti brzinu kretanja *X* ose, kako bi laser mogao fizički da ostvari 4 *PWM* periode u toku trajanja jednog impulsa motora (slika 12.). Tako se dolazi do maksimalne brzine motora $V_{MAX} = 4880\text{ imp/s}$, pri kojoj *X* osa prelazi jedan korak ($78,5\text{ µm}$) za 205 µs . Laserski *PWM* signal, koji je sinhronizovan sa drajverskim impulsima, za to vreme uspeva da izgravira belu tačku prečnika 76 µm [6]. Ukoliko je brzina kretanja vratila motora manja od V_{MAX} , nakon slanja 4 *PWM* impulsa, primenjuju se *tickle* impulsi, tj. laser ne emituje energiju do naredne tačke (slika 13.).

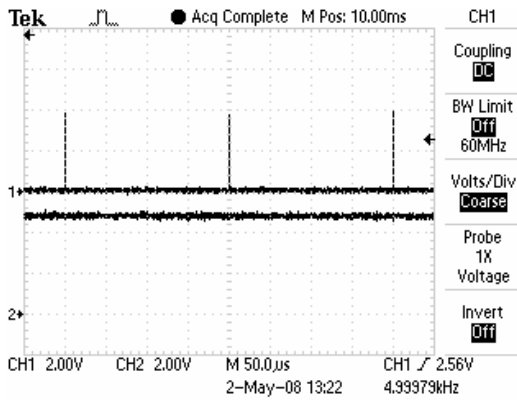
Deklarisana tačnost zadavanja i regulacije snage lasera iznosi 1 %. Ona se jednostavno može proveriti merenjem širine impulsa i pauze *PWM* signala. Slike 14. i 15., na primeru podešenih 65 % snage zraka, dokazuju da se greška kreće u dozvoljenim granicama.

Slika 16. prikazuje graviranje bajta 10101010 pri maksimalnoj brzini kretanja.

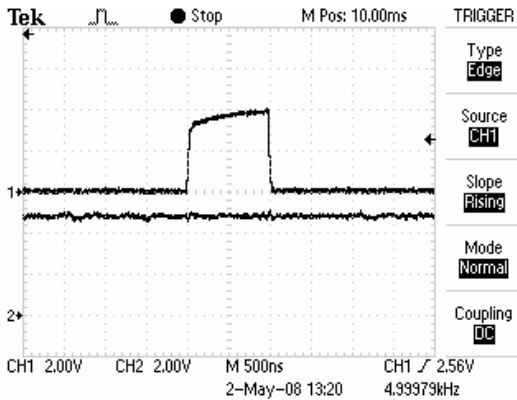
Na slici 17. predstavljeni su *PWM* impulsi za dobijanje 90 % snage laserskog zračenja.



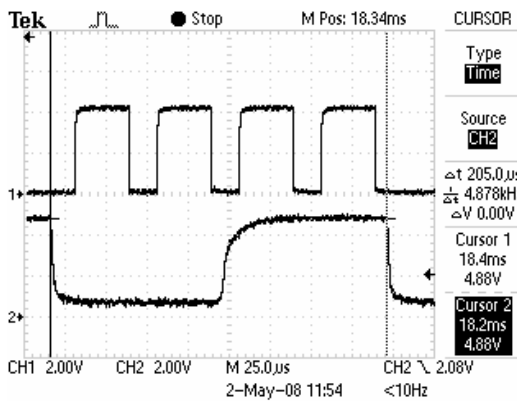
Sl. 9. Frekvencija *PWM* signala ($f_{PWM} = 20\text{ kHz}$)



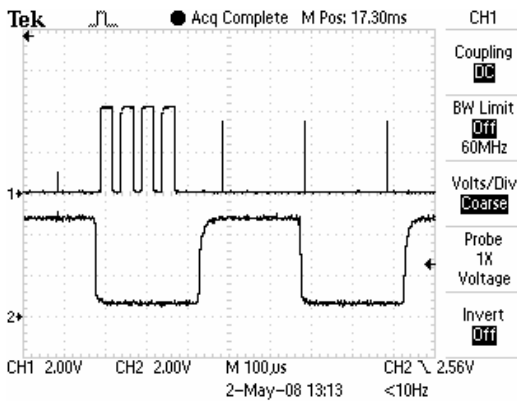
Sl. 10. Frekvencija tickle impulsa ($f_{TICKLE} = 5 \text{ kHz}$)



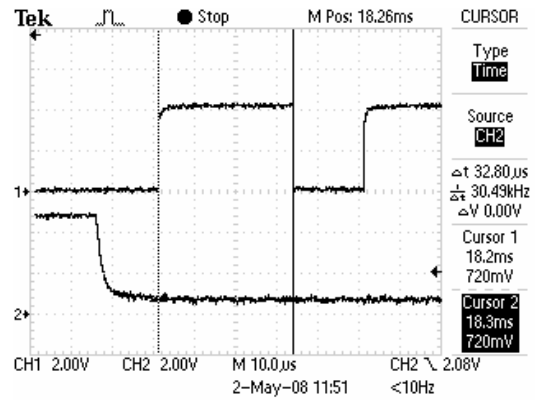
Sl. 11. Faktor ispune tickle impulsa ($T_{TICKLE} = 1 \mu\text{s}$)



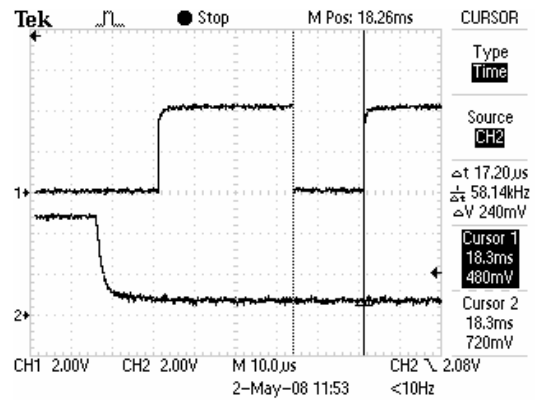
Sl. 12. PWM i drajverski signali (laser = 65 %, $V = 4880 \text{ imp/s}$)



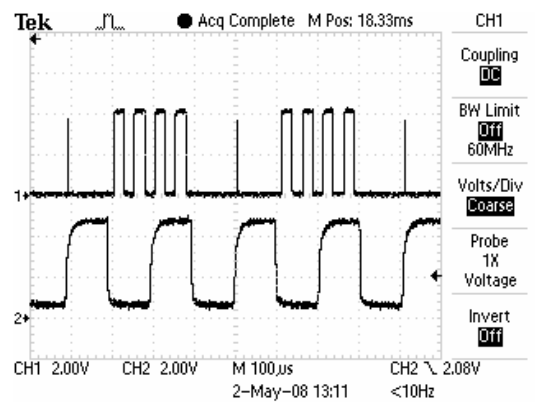
Sl. 13. PWM i drajverski signali (laser = 50 %, $V = 2000 \text{ imp/s}$)



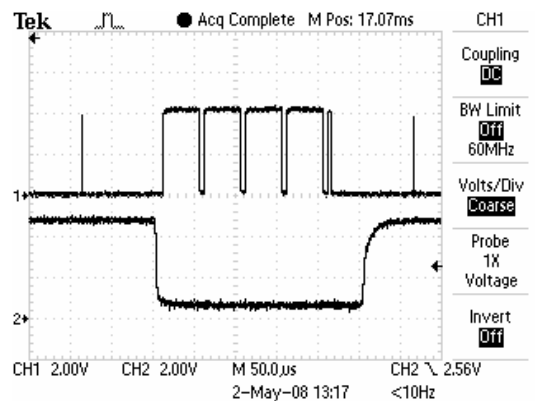
Sl. 14. Regulacija snage lasera – impuls (laser = 65 %, $V = 4880 \text{ imp/s}$)



Sl. 15. Regulacija snage lasera – pauza (laser = 65 %, $V = 4880 \text{ imp/s}$)



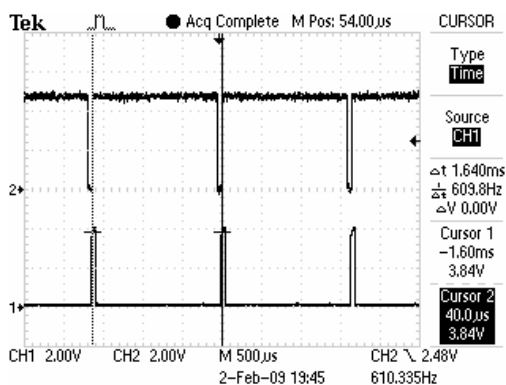
Sl. 16. PWM i drajverski signali (laser = 50 %, $V = 4880 \text{ imp/s}$)



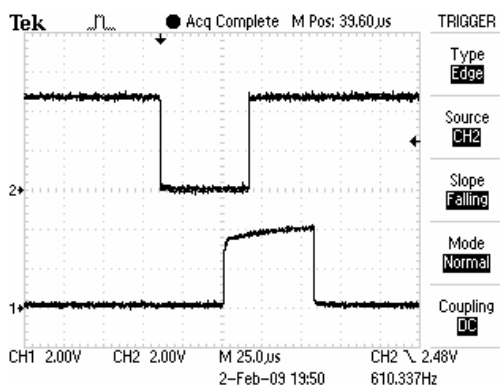
Sl. 17. Regulacija snage lasera (laser = 90 %, $V = 2000 \text{ imp/s}$)

3.4. Komunikacioni signali

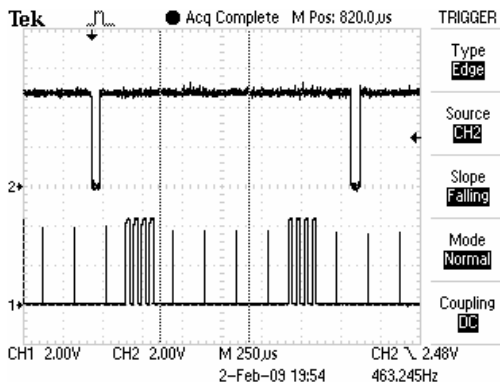
Protokol komunikacije preko paralelnog porta računara veoma je jednostavan. Potrebna su samo dva kontrolna signal: *READY* i *XINT* (slika 18. i 19.). Prvi se upućuje računaru (aktivan nizak logički nivo) kao zahtev za slanjem narednog bajta. On se generiše nakon svakih 8 izgraviranih bita (slika 20.). Drugi signal predstavlja interapt (aktivan visok logički nivo) koji obavlja upis novog poslatog bajta u *DSP*. Očigledno je prisustvo rada u realnom vremenu. Pri maksimalnoj brzini graviranja komunikacija se odvija na $f_{MAX}=610\text{Hz}$. Ukoliko je *PC* procesor preopterećen, može doći do povremenog gubitka informacije od maksimalno jednog bajta. Zbog toga se izbegava istovremeno pozivanje više korisničkih programa.



Sl. 18. *PC komunikacija – princip rada*
($V = 4880 \text{ imp/s}$, $f_{MAX} = 610 \text{ Hz}$)



Sl. 19. *Signali za paralelan prenos podataka*



Sl. 20. *PWM i signali zahteva novog bajta*

4. ZAKLJUČAK

Predstavljeno rešenje razvojnog modela *CNC* mašine za lasersko graviranje zadovoljava sve usvojene kriterijume verifikacije, kako u pogledu tačnosti rada i željene dinamike pogona, tako i na polju kontrole laserskog zračenja.

Projektovane rezolucije i željene performanse nije moguće ostvariti bez angažovanja profesionalno obučenog kadra. Postavljanje i podešavanje mehaničkih komponenti sistema zahteva vrhunsku preciznost, iskustvo i upotrebu specijalnih mernih instrumenata.

Pored toga, potrebno je napomenuti da se posebna pažnja mora posvetiti izboru kvalitetnih diskretnih elektronskih komponenti, dizajniranju štampanih kola, kao i rasporedu ploča i vodova. Time se unapred otklanja povećana mogućnost uticaja elektromagnetnih i drugih smetnji na rad hardverskog dela sistema.

Ugradnja usisnika prašine, konstruisanje zaštitnog oklopa mašine i stalno podizanje nivoa bezbednosti su problemi koji se trenutno razmatraju. Takođe je aktuelno unapređenje pouzdanosti komunikacije između računara i *DSP* kartice. Razmišlja se o dodatnom mikrokontroleru (*PIC* proizvođača *Microchip* ili sličnom) koji bi imao zadatak da, pre slanja, stornira određen broj bajtova. Na taj način bi se računar rasteretio od povećanih zahteva za procesorskim vremenom tokom graviranja.

Razvojni model trenutno se nalazi u završnoj fazi ispitivanja mehanike i dorade softvera. Zbog toga se izneti rezultati verifikacije uređaja trebaju smatrati preliminarnim.

5. LITERATURA

- [1] Paul E. Sandin, "Robot Mechanisms and Mechanical Devices", March 2003.
- [2] Bojan Kraut, "Strojarski priručnik", Tehnička knjiga, Zagreb, 1982.
- [3] TI Documentation, "TMS320C240/F240 DSP Controllers Data Sheet", May 1998.
- [4] MotionKing Documentation, "Two-Phase Hybrid Stepper Motor 43HS Series", March 2007.
- [5] MotionKing Documentation, "Two-Phase Hybrid Stepper Motor Driver", March 2007.
- [6] SYNRAD Documentation, "Series L48 Lasers Operator's Manual", August 2006.
- [7] M. Živić, "Primena vektorski regulisanog asinhronog pogona za pozicioniranje ose na *CNC* mašini u Livnici Kikinda AD", Magistarski rad, FTN, Novi Sad, 2002.

DEVELOPING MODEL OF CNC MACHINE FOR LASER ENGRAVING - PRACTICAL VERIFICATION

Abstract: Complete mechanical construction of Development model of *CNC* machines for laser engraving is modeled in the *CATIA* software package. Electrical drives, laser characteristics and control electronics are very seriously studied before practical implementation. This paper has an serious assignment: confirmation of expected results and conclusions based on measurements and practical machine performance verification.

Key words: laser, engraving, *CNC*, *DSP*.