

SISTEM SIGURNOSNOG OPALJENJA UREDJAJA ZA UNIŠTAVANJE EKSPLOZIVNIH NAPRAVA NA MOBILNOM ROBOTU MR5

Miloš Jovanović, Miomir Vukobratović,
Institut «Mihajlo Pupin»

SADRŽAJ – Mobilni robot MR5 razvijen u Engineering Services Inc. Toronto Kanada je dizajniran za posebne namene u opasnim okruženjima. Posедуje mobilnu platformu sa robotskom rukom. Opremljen je sistemom za uništavanje eksplozivnih naprava na bazi vodenog metka. Kontrola sistema sigurnosnog opaljenja zahteva posebne sigurnosne mere koje ne smeju dovesti do samoopaljenja ili do nekontrolisanog opaljenja. Kontroler mobilnog robota aktivira sistem sigurnosnog opaljenja posebnom procedurom koja moguće greške i smetnje svodi na minimum. Sistem sigurnosnog opaljenja je tako dizajniran da eliminiše elektromagnetne smetnje.

1. UVOD

Mobilni robot MR5 [1] razvijen u Engineering Services Inc je platforma nove generacije sposobna da pristupi istraži i otkrije sumnjive predmete u nepristupačnim sredinama, ispod automobila, u skrivenim rupama, i sličnim nepristupačnim mestima. Platforma poseduje ukupno 9 stepeni slobode: dva za pokretanje mobilne platforme dok je robotska ruka realizovana sa ukupno 7 stepeni slobode od kojih je hvataljka servoisana radi merenja sile stezanja. Kontroler se sastoji iz upravljačkog sistema na mobilnoj platformi i konzole koja služi kako za zadavanje komandi i upravljanje tako i za praćenje stanja sistema. Veza između robotske platforme i konzole može biti žična i bežična. Žična (kablovska) veza može biti sa druge strane optička i koaksijalna. Bežična veza se sastoji iz tri nezavisne celine: data modem, video link i audio link. Treba napomenuti da je maksimalni domet bežične komunikacije 300 metara dok kablovska veza maksimalno može biti ostvarna do 100 metara (koaksijalni kabl) odnosno 200 metara (optički kabl) koliko je maksimalni kapacitet doboša nosača kabla.

2. OPIS SISTEMA ZA SIGURNOSNO OPALJENJE

Jedan od najvažnijih sistema mobilnog robota MR-5 je sistem za uništavanje eksplozivnih naprava [2]. Ovaj sistem se sastoji iz 3 međusobno povezane celine:

- 1- elektronike sigurnosnog sistema;
- 2- od uređaja za ispaljivanje vodenog mlaza koji razara eksplozivnu napravu pre nego što uopšte može da dođe do njenog aktiviranja i eksplozije;
- 3- od laserskog nišanskog sistema.

Uređaj za razaranje (uništavanje) eksplozivnih naprava je poznatiji pod imenom DISRUPTOR. Ovaj uređaj je u modifikovani pištolj koji ispaljuje vodeni metak. Vodeni mlaz ispaljen iz ovog pištolja probija i razara eksplozivno punjenje ili detonator eksploziva, onespoboljava eksplozivnu napravu ga u potpunosti i onemogućava njegovo detoniranje. Mobilni robot MR-5 u osnovnoj varijanti poseduje jedan sigurnosni sistem sa dva uređaja (pištolja) za uništavanje eksplozivnih naprava a moguća je dogradnja još jednog sigurnosnog sistema sistema sa nova dva uređaja. Sistem za sigurnosno opaljenje poseduje i laserski nišanski deo koji se aktivira posebnim relejnim izlazima. Postoje dva relejna izlaza opšteg tipa koji mogu da

budu korišćeni za kontrolu laserskog sistema za nišanjenje ili kao izlazi opste namene.

3. FUNKCIONALNE CELINE

Elektronski sklop se sastoji iz bloka za kašnjenje, dekodersko sigurnosnog dela i energetskog dela koji obezbeđuje aktiviranje izlaza (oruđa za uništavanje i laserskih nišana). Kontrolni signali su generisani od strane procesora preko DIGIO [3, 4, 5] ploče. Postoje sedam ulaznih signala:

- `/reset_fire` signal koji resetuje sistem sigurnosnog opaljenja, aktivan je naponski nivo od 24 V;
- `/clk_fire` signal takta generisan od strane procesora. Ovo je takt po kome se upisuje zaštitni kod, aktivan je nivo od 24V;
- `/data_fire` podatak koji se upisuje od strane procesora;
- `/1_fire` signal aktiviranja oružja broj 1, aktivan je naponski nivo od 24V
- `/2_fire` signal aktiviranja oružja broj 2, aktivan je naponski nivo od 24V
- `relay_1` signal aktiviranja relejnog izlaza broj 1, aktivan je naponski nivo od 24V
- `relay_2` signal aktiviranja relejnog izlaza broj 2, aktivan je naponski nivo od 24V

Procesor može da očita iz sistema dva izlazna signala koja su vrlo važna jer daju informacije o statusu sistema. Izlazni signali su:

- `stat_fire_1` signal koji daje informaciju o stanju linije za opaljenje broj 1, aktivan je naponski nivo od 24V
- `stat_fire_2` signal koji daje informaciju o stanju linije za opaljenje broj 2, aktivan je naponski nivo od 24V

Sistem sigurnosnog opaljenja je koncipiran tako da sme da aktivira disruptor samo ako je došla validna kombinacija na ulazu. Sigurnost i otpornost na spoljašnje uslove je najbitnija karakteristika koju sistem za sigurnosno opaljenje mora da zadovolji. Sistem se uključuje posebnim prekidačem. Ovim se obezbeđuje da sistem bude pod napajanjem samo kada se predviđa dejstvo disruptorom. Po uključanju sistema prebacivanjem prekidača mora da protekne neko vreme pre nego što sistem bude spreman za dejstvo. Svrha ovog kašnjenja po aktiviranju sistema je u sigurnosti. Zamisao je da po aktiviranju sistema za sigurnosno opaljenje sistem ne bude spreman još neko vreme. Robot se dovodi u zonu dejstva. Zona dejstva je obično dovoljno daleko od operatera i ostalih učesnika pa je mogućnost nenamerne ozlede osoblja ovim svedena na najmanju moguću meru. Ovo vreme se može menjati u granicama od 0.5 do 4 minuta sa korakom od 30 sekundi (Tabela 1.). Po isteku odabranog vremena generiše se signal uključanja (`enable`) koji aktivira releje. Ovi releji kontrolišu linije za opaljenje. Ovim je sistem aktiviran i spreman za dejstvo. U zakočenom stanju opisani releji drže linije opaljenja u kratkom spoju ne dozvoljavajući nikakvu slučajnu akciju na linijama. Linija za kašnjenje je realizovana pomoću LATTICE ISPLSI1016E [6] programabilne logičke

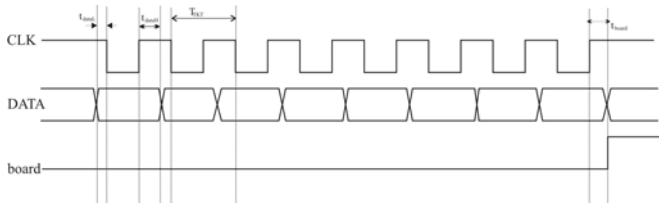
mreže. Linija za kašnjenje izvedena kao 18 bitni brojač koji broj sa frekvencijom od 1ms. Generator impulsa je realizovan uz pomoć tajmera 555 koji radi u astabilnom režimu. Tajmer 555 je konfigurisan tako da osciluje sa frekvencijom od 1ms dok je odnos periode logičke jedinice i logičke nule $T_H/T_L=3/4$.

kombinacija	S2.1	S2.2	S2.3	kašnjenje
1	0	0	0	30 s
2	0	0	1	60 s
3	0	1	0	90 s
4	0	1	1	120 s
5	1	0	0	150 s
6	1	0	1	180 s
7	1	1	0	210 s
8	1	1	1	240 s

Tabela 1 Zavisnost vremena kašnjenja od stanja mikroprekidača S2

Signalne LED diode koje se nalaze na elektronskoj pločici uređaja služe da prikažu stanje sistema za sigurnosno opaljenje. Postoje četiri LED diode koje su obično u različitim bojama. Osnovna LED dioda svetli kada se sistem uključi signalizirajući da je sistem pod napajanjem. (POWER). U toku odmeravanja vremena kašnjenja treperi LED dioda (DELAY) signalizirajući da je u toku merenje vremena kašnjenja. LED diode koje označavaju stanje sistema u ovom slučaju definišu odgovarajuću signalizaciju na sledeći način: LED koji signalizira da nije aktiviran sistem (LINE OFF) svetli, dok LED koji obaveštava da je sistem aktiviran (LINE ON) ne svetli. Po isteku vremena kašnjenja, treptanje LED diode (DELAY) nestaje i ova dioda ostaje isključena. Tada LED diode koje signaliziraju stanje linije menjaju svoja stanja: LED dioda (LINE OFF) se gasi dok LED dioda (LINE ON) svetli signalizirajući da je vreme isteklo i da je linija aktivna.

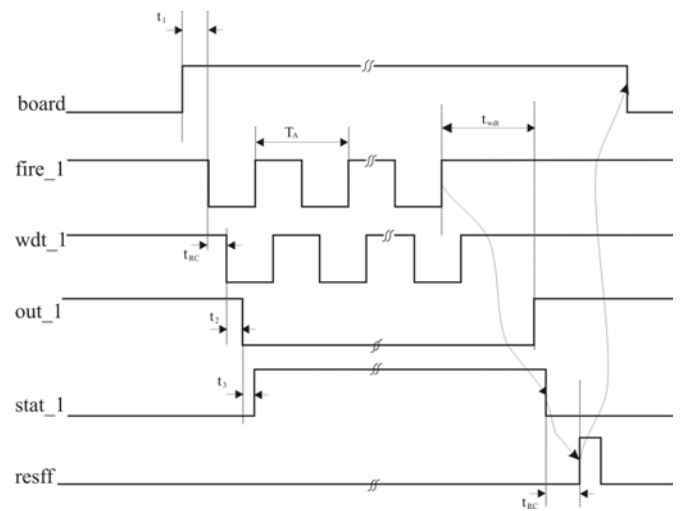
Aktiviranje jednog od dve linije za opaljenje je pod direktnom kontrolom procesora kontrolera. Kao što se vidi sa Šeme 7. procesor prvo mora da generiše adresu sistema koja se sastoji od 8 bitova. Ova serija se sastoji od 8 bitova podataka koju prate 8 taktova signala upisa u registar. Registar je realizovan unutar LATTICE ISPLSI1016E [6] programabilne logičke mreže. (Šeme 10, 11 i 12.) Vremenski dijagram na slici 1. prikazuje vremensku zavisnost i raspored signala u vremenu prilikom unošenja upravljačkih signala za aktiviranje disruptora.



Slika 1. Vremenski dijagram generisanja kontrolnih signala ploče za sigurnosno opaljenje

Pošto su signalne linije od kontrolera dosta dugačke (preko 1 metra) direktno povezivanje signala takta iz kontrolera kao globalni takt ulaz u PLD nije poželjan zbog "umekšavanja" ivica usled jako dugačkih linija. Zbog toga pribegnuto je filtraciji signala takta putem lokalno generisanog takt signala

iz generatora takta 555 od 1ms. Signal takta iz 555 se uvodi kao globalni takt signal za ceo PLD.



Slika 2. Vremenski dijagram filtriranja eksternog signala takta clk

Signal takta generisan iz kontrolera se prvo trostruko filtrira uz pomoć tri D flip flopa (slika 2). Ukoliko se u tri ciklusa detektuje regularni signal to se upisuje u DFF a zatim se uz pomoć invertora i I kola generiše kratki impuls upisa u osmobitni serijski registar podataka CLKRUN (slika2). Reset generatorskog DFF-a se vrši uvek kada se detektuju tri naizmenične sekvence neaktivnog signala clk na ulazu. Interno generisani takt signal neće biti aktivan ukoliko se na ulazu pojavi signal opaljenja prve ili druge linije (fire_1 ili fire_2).

Postavlja se pitanje kolika je granična učestanost signala takta generisanog od strane kontrolera. Očigledno je da je minimalna granična učestanost proizvoljno mala ali u stvari limitirana realnim parametrima. Ovo se odnosi na razuman zaključak da sekvenca opaljenja ne bi trebalo da traje beskonačno dugo. Već opaljenje treba da bude realizovano što je brže moguće po aktiviranju tastera na baznoj stanici. Komunikacija između bazne stanice i robota je realizovana sa bodnom brzinom od 19200 bauda odnosno 19200 bita u sekundi. Ukoliko se uzme da se šalju kodovani paketi od 32 bajta podataka, prenos jednog paketa od bazne stanice do robota traje 16 ms. Na slici 3. data su neka vremena karakteristična za ispravan rad celog sistema. t_{dataL} je vreme potrebno da protekne od trenutka kada je podatak spreman do trenutka kada naiđe aktinvi nivo signala takta upisa u registar. Pošto je u pitanju digitalno filtriranje ranije opisano, jasno je da podatak ne mora da bude spreman pre pojavljivanja opadajuće ivice signala takta. Stoga je:

$$t_{dataL}=0$$

Takođe podatak mora da bude validan i neko vreme posle nailaska signala takta. Ovo vreme je u direktnoj zavisnosti od internog takta (1ms). Pošto se upisivanje odnosno registrovanje dolaska signala takta iz kontrolera vrši posle 4 impulsa internog takta očigledno je da četvrti impuls internog takta mora biti znatno pre rastuće ivice signala. Samim tim i podatak je već sigurno zapisan i nema potrebe da bude validan još neko vreme. Stoga se može uzeti:

$$t_{dataH}=0$$

Što se tiče maksimalne frekvencije takta generisanog od strane kontrolera koji diktira upis podatka u serijski registar,

on je u direktnoj zavisnosti od internog takta. Kao što je već rečeno, potrebno je da ovaj signal bude konstantan u vremenskom periodu od 4 takta. Pošto se u opštem slučaju ne može tačno predvideti vreme početka odabira, mora se omogućiti i određeni sigurnosni prag da se ovaj signal sigurno detektuje. Stoga je najsigurnije da minimalno vreme za koje signal eksternog takta treba da bude validan i da će biti sa sigurnošću detektovan je jednak:

$$t_{CLK} = 5 * t_{TKT}$$

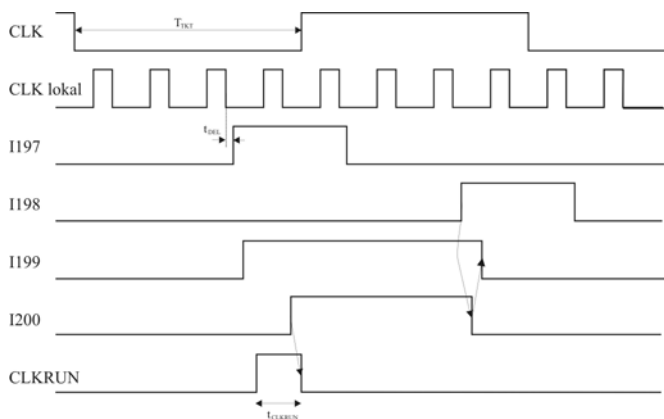
odnosno

$$T_{MAX} = 10 * t_{TKT}$$

ili

$$f_{MAX} = 100 \text{ Hz}$$

Na slici 8. data je dalja sigurnosna sekvenca aktiviranja linije disruptora. Po aktiviranju signala board posle pravilno ušiftovane skvence adrese, može se pristupiti aktiviranju samog signala za opaljenje. Radi sigurnosti od smetnji, sam signal opaljenja fire_1 mora biti periodičan sa frekvencijom u odgovarajućim okvirima. Sve ove mere predostrožnosti i relativno složena procedura aktiviranja disruptora ima za cilj apsolutnu sigurnost. Disruptor sme da se aktivira samo po pravilno unetoj proceduri. Bilo kakva smetnja ili nepravilnost u generisanju signala mora one-



Slika 3. Vremenski dijagram aktiviranja linije za opaljenje po pravilno unetoj adresi ploče

moćiti opaljenje. Signal opaljenja prvog disruptora ulazi u PLD 1016 gde se vrši detektovanje opadajuće ivice kao aktivne ivice ovog signala. Aktivna ivica se detektuje na osnovu šeme 10 u delu označenom sa "faling edge detector". Zbog primenjenog RC clana izalzd wdt_1 je zakasneli signal impulsnog karaktera koji odgovara detektovanim opadajućim ivicama ulaznog signala fire_1. Vreme t_{RC} označava vreme kašnjenja signala wdt_1 u odnosu na ulazni signal fire_1. Očigledno je da je $t_{RC} = 0.7 * RC$, odnosno

$$t_{RC} = 4 \text{ ms}$$

Ovo konkretno znači da ulazni signal fire_1 ne sme da bude frekvencije veće od vremena kašnjenja, odnosno $f_{MAX} = 125 \text{ Hz}$. ili $T_A \geq 8 \text{ ms}$. Postavlja se pitanje koliko vremena mora da protekne od pravilno unete adrese do aktiviranja signala za opaljenje. Tačnije, koliko vremena mora da protekne od aktiviranja signala board unutar PLD-a 1016 pa do pojavljivanja prve opadajuće ivice signala fire_1 (na slici 3 označeno kao t_1). Pošto je na slici 6 dato vreme kašnjenja t_{BOARD} kao vreme koje protekne od poslednje ušiftanog podatka do pojave signala board, interesuje nas koliko mora da protekne vreme od osmog podatka odnosno osmog takta za upis podatka do prve opadajuće ivice signala fire_1.

Vreme pojavljivanja signala t_{BOARD} je jednako vremenu kašnjenja komparatora I182 na šemi 10.

$$t_{BOARD} = 70 \text{ ns}$$

pa je stoga:

$$t_1 = t_{BOARD} + t_{port} = 140 \text{ ns}$$

što je zanemarljivo vreme u odnosu na frekvenciju sa kojom sistem radi.

Po obavljenom detektovanju opadajuće ivice signal aktiviranja disruptora zatim iz PLD-a ulazi u monostabilni multivibrator realizovan uz pomoć 74HC123. Dokle god postoji okidački ulaz signal na izlazu iz monostabilnog multivibratora će biti aktivan posle prvog impulsa. Vreme stabilnog stanja određeno je RC konstantom. t_{WDT} je vreme stabilnog stanja i ono određuje minimalnu frekvenciju signala koji aktivira disruptor fire_1.

iz kataloga [7] sledi:

$$t_{WDT} = 0.45 RC$$

odnosno

$$t_{WDT} = 22.5 \text{ ms}$$

Iz ovoga sledi da je minimalna frekvencija sa kojom će uređaj pouzdano raditi 44Hz.

Signal out_1 je konačni signal koji u relaciji sa signalom board aktivira odgovarajuću kombinaciju releja i PNP tranzistora. Uvođenje ove kombinacije koja uključuje (aktivira) disruptor je takođe iz sigurnosnih razloga. Relej je elektromehanička komponenta koja je vrlo otporna na elektromagnetne smetnje. Sa druge strane relej je poprilično nepouzdana komponenta što se tiče mehaničkih vibracija. Tranzistor je po svojoj strukturi mehanički otporna komponenta. Kombinacija ova dva elementa daje maksimalnu pouzdanost i na mehaničke i na elektromagnetne smetnje.

Pomoću drugog PLD-arealizovano je vremensko kašnjenje sistema od uključenja do dozvole mogućnosti upisa podataka radi aktiviranja disruptora. Glavni delovi su dvadesetobitni brojač koji je odgovoran za generisanje kašnjenja. D flip flop omogućava jednom isteklo vreme da stalno bude aktivno tako da do novog odmeravanja ne dođe osim po isključenju napajanja u sistemu.

4. ZAKLJUČAK

Ovako razvijen sistem sigurnosnog opaljenja uspešno je realizovan i ugrađen na platformu mobilnog robota MR-5 firme Engineering services Inc, Toronto, Ontario, Kanada. Sistem je testiran u realnim uslovima, kao i u uslovima velikih smetnji i odlikuje se velikom pouzdanošću. Sistem može da kontroliše do 2 disruptora a moguće je jednostavno povezivanje i drugog paralelnog sistema na istoj liniji.

REFERENCE

- [1] www.esit.com/mobile Home page kanadske firme Engineerign Services Inc i prikaz mobilnog robota MR-5.
- [2] Miloš Jovanović, Kontroler na bazi PC tehnologije za primenu kod mobilnog robota MR-5, decembar 2004, magistarska teza
- [3] M. Jovanović, M. Vukobratović, Ž. Despotović "Univerzalni robotski kontroler sa 6 stepeni

- slobode”, XLVII ETRAN Herceg Novi 8-13 juna 2003. Vol 4, pp 371-375.
- [4] M. Jovanović , M. Vukobratović, Ž. Despotović “Univerzalni robotski kontroler za ROBED 03”, XII Energetska Elektronika Novi Sad, 5-7 decembra 2003. Vol T4-4.3, pp 1-4.
- [5] M. Jovanović , M. Vukobratović, “PC robotski kontroler za mobilni robot MR-5”, XLVIII ETRAN Čačak, 6-10 jun 2004, Vol 4, pp 261-264.
- [6] www.latticesemi.com/1016.pdf Data sheet za

- programabilnu logičku mrežu ISPLSI 1016
- [7] Motorola, HCMOS katalog, Motorola Corp. USA 1996.
- [7] Motorola, HCMOS katalog, Motorola Corp. USA 1996

ABSTRACT: Mobile Robot MR-5 was designed in Engineering Services Inc. Toronto Ontario. It was designed to solve special tasks in hazardous environment. It has a robot arm equipped with water disruptor. Control of this type of systems is extremely especially in the field of noise and safety solutions. Safety firing module is one of the most sensitive part of the controller.

SAFETY FIRING SYSTEM FOR MOBILE ROBOT MR-5

Miloš D. Jovanović, Miomir Vukobratović