

Doprinos poboljšanju brzine rada pseudoslučajnog pozicionog enkodera

Goran Miljković, Ivana Randelović i Dragan Denić

Apstrakt—Optički obrtni pseudoslučajni enkodori su odlična alternativa klasičnim enkoderima za pouzdano merenje apsolutne pozicije u različitim pokretnim sistemima. U radu je opisano rešenje pseudoslučajnog enkodera koje ima skraćeno vreme određivanja ugaone pozicije, jer ne vrši konverziju pseudoslučajnog u prirodni kod kod svake očitane kodne reči. Predstavljeni enkoder koristi dve glave za očitavanje koda i u normalnom režimu rada stalno vrši proveru greške očitavanja koda umesto konverzije. Funkcionalnost rada enkodera smo ispitali u LabVIEW softverskom okruženju.

Ključne reči—pseudoslučajna binarna sekvenca, digitalno merenje pozicije, pseudoslučajni pozicioni enkoder

I. UVOD

Pristup koji se često koristi u praksi prilikom digitalnog merenja pozicije se bazira na primeni linearnih i obrtnih optičkih pozicionih enkodera. Prema principu rada, pozicioni enkodori mogu biti apsolutnog i inkrementalnog tipa, ali postoje i enkodori hibridnog tipa koji po principu rada i karakteristikama predstavljaju kompromis između prethodne dve grupe enkodera. Sve su strožiji zahtevi savremenih pokretnih sistema što se tiče informacije o poziciji, njene tačnosti, rezolucije i pouzdanosti, [1, 2, 3, 4, 9]. Pseudoslučajni enkodori, za razliku od klasičnih apsolutnih enkodera, primenjuju serijski (ciklični) pseudoslučajni binarni kod za izradu kodne trake na disku enkodera, [3]. Pseudoslučajni binarni kod omogućava primenu serijskog očitavanja, ali se može primeniti i paralelno očitavanje koda, [5, 6]. Susedne kodne reči pseudoslučajnog binarnog koda se razlikuju u jednom bitu. Pri kretanju kodnog diska pseudoslučajnog enkodera, a u slučaju primene serijskog očitavanja koda, očitava se jedan bit koji zajedno sa prethodno očitanih $(n-1)$ bitova formira novu kodnu reč koja je jedinstvena i jednoznačno određuje tekuću ugaonu poziciju. Ako je na kodnoj traci enkodera primenjen n -bitni pseudoslučajni binarni kod, onda je na traci raspoređeno ukupno $2^n - 1$ kodnih reči. Pseudoslučajni enkoder nezavisno od rezolucije ima jednu kodnu traku, što je jedna od prednosti u odnosu na klasične apsolutne enkodere.

Očitavanje pseudoslučajnog koda može biti realizovano serijski sa jednom ili dve glave za očitavanje koda [5] kao i paralelno, na primer primenom linearnog niza fotodetektora [6]. Korišćenjem serijskog očitavanja enkoder koristi manji

broj senzora za očitavanje koda od klasičnog apsolutnog enkodera. U cilju sinhronizacije očitavanja pseudoslučajnog koda pored kodne trake je smeštena sinhronizaciona traka, a može biti implementirana na različite načine. U radu [7] je predloženo rešenje gde nema sinhronizacione trake, nego se bitovi pseudoslučajnog koda dodatno kodiraju. Od tačnosti definisanja trenutka očitavanja bitova sa pseudoslučajne trake, čemu služe signali sa sinhronizacione trake, zavisi i tačnost očitavanja pseudoslučajnog koda. Signali sa sinhronizacione trake se koriste za određivanje smera rotacije diska enkodera, a mogu se upotrebiti i za povećanje rezolucije enkodera. Pseudoslučajni pozicioni enkoder takođe omogućava jednostavnije rešavanje problema određivanja nulte pozicije prilikom montiranja enkodera na osovinu motora.

Prilikom merenja tekuće pozicije pokretnog sistema pomoću pseudoslučajnog enkodera, potrebno je nakon formiranja kodne reči izvršiti konverziju pseudoslučajnog u prirodni kod, [8, 9]. Mogu se primeniti serijski, paralelni i serijsko-paralelni konvertori koda. Serijski konvertori su jednostavniji i sporiji, dok su paralelni brži, ali hardverski skuplji i kompleksniji. Serijsko-paralelni konvertori su kompromisno rešenje prethodna dva tipa konvertora. Različite metode provere greške očitavanja koda se mogu implementirati u pseudoslučajnim enkoderima [4, 9].

U prvom delu rada smo opisali princip rada predloženog pseudoslučajnog enkodera, pri čemu smo detaljno objasnili način očitavanja koda sa diska enkodera i algoritam rada enkodera. Nakon toga, algoritam rada enkodera smo implementirali i testirali u LabVIEW okruženju. Na kraju rada smo analizirali predloženi algoritam rada enkodera i njegovo ponašanje prilikom pojave grešaka očitavanja koda.

II. PRINCIP RADA PSEUDOSLUČAJNOG ENKODERA

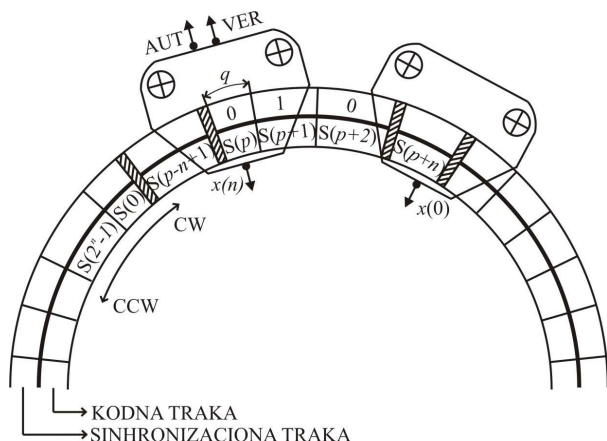
Pseudoslučajni obrtni optički enkoder, čija će brzina rada biti optimizovana, ima na kodnom disku dve trake, jednu sinhronizacionu traku i pored nje pseudoslučajnu kodnu traku, slika 1. Pseudoslučajni kod se očitava korišćenjem dve glave za očitavanje koda $x(0)$ i $x(n)$, koje su na rastojanju nq , gde je q korak kvantizacije kodne trake, a n rezolucija pseudoslučajnog koda, [5]. Ovakav način očitavanja pseudoslučajnog koda omogućava kontinualnost formiranja kodnih reči prilikom promene smera rotacije, ali i primenu pouzdanih metoda provere ispravnosti očitavanja bitova sa kodne trake, [4]. Metoda provere greške očitavanja koda, opisana u referenci [4], jednu glavu za očitavanje koda koristi za formiranje glavne kodne reči, koja služi za određivanje pozicije, dok drugu glavu koristi za formiranje kontrolne

Goran Miljković – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: goran.miljkovic@elfak.ni.ac.rs),

Ivana Randelović – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: ivana.randjelovic@elfak.ni.ac.rs),

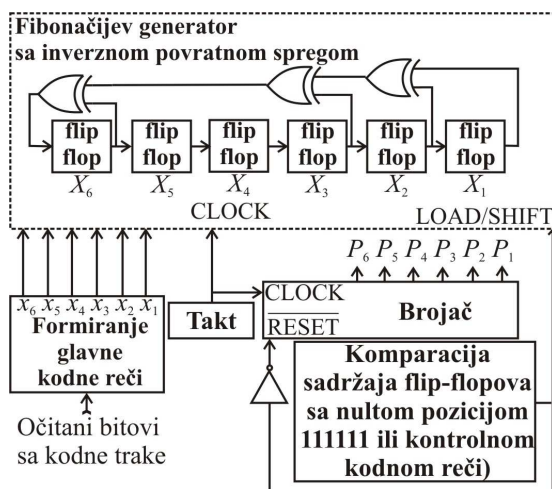
Dragan Denić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija, (e-mail: dragan.denic@elfak.ni.ac.rs),

kodne reči. Glavna i kontrolna kodna reč su na poznatom fiksnom rastojanju n , što se može proveriti primenom konvertora koda. Sinhronizaciona traka se očitava sa dve glave, AUT i VER, koje su na rastojanju $q/2$, a dobijaju se signali koji se koriste za definisanje trenutka očitavanja pseudoslučajne kodne trake, kao i za određivanje smera rotacije (CCW ili CW), slika 1.



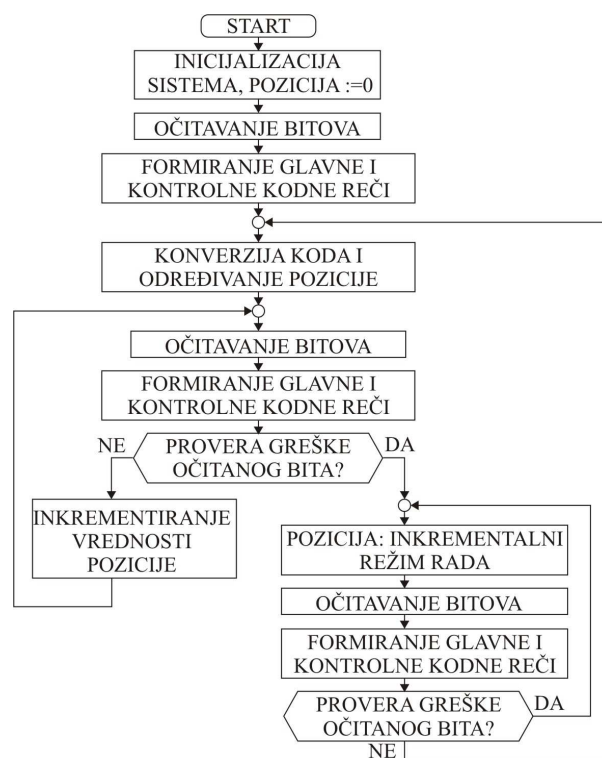
Sl. 1. Očitavanje pseudoslučajnog koda pomoću dve glave sa diska pseudoslučajnog pozicionog enkodera.

Osnovni princip rada predloženog pseudoslučajnog enkodera je opisan pomoću pojednostavljenog algoritma na slici 3. Primena serijskog očitavanja pseudoslučajnog koda uzrokuje da se prilikom startovanja enkodera moraju očitati prvih n bitova kako bi se formirala prva kodna reč i dobila informacija o poziciji, odnosno potrebno je neko inicijalno kretanje u toku kojeg je nepoznata informacija o poziciji. Kada se formira validna kodna reč sledi konverzija pseudoslučajnog u prirodni kod i dobija se informacija o poziciji, slika 2. Konvertor pseudoslučajnog u prirodni kod baziran na Fibonačijevom generatoru pseudoslučajne binarne sekvence sa inverznom povratnom spregom je prikazan na slici 2, a za primer 6-bitnog pseudoslučajnog koda koji se koristi kasnije u simulatoru rada enkodera.



Sl. 2. Serijski konvertor pseudoslučajnog u prirodni kod.

Očitavanjem novih bitova sa pseudoslučajne kodne trake korišćenjem glava za očitavanje $x(0)$ i $x(n)$ formiraju se glavna kodna reč, kao i kontrolna kodna reč. Posle toga se ne primenjuje konverzija koda, kao kod rešenja u referenci [5], već sledi provera greške očitanih bitova, a u slučaju da se greška nije javila, nova vrednost pozicije se dobija inkrementiranjem prethodne vrednosti pozicije. U ovom radu se pretpostavlja da se disk enkodera okreće samo u jednom smeru CCW, radi lakše analize i simulacije rada enkodera. U radu [4] je pokazano da je primenjena metoda provere grešaka očitavanja koda pouzdana, odnosno svaka greška očitavanja koda se detektuje. Metoda provere grešaka očitavanja koda koristi konvertor koda baziran na primeni Fibonačijevog generatora pseudoslučajne binarne sekvence, slika 2. Očitana glavna kodna reč se učitava u flip-flobove Fibonačijevog generatora i brojač broji periode takta potrebne generatoru da dođe do referentne kodne reči. U slučaju kada se vrši konverzija koda, referentna kodna reč je unapred definisana i predstavlja nultu poziciju diska enkodera. Za slučaj kodne reči kada je najduže vreme konverzije, očitana glavna kodna reč je udaljena $2^n - 1$ perioda takta od referentne kodne reči. Dok u slučaju primene konvertora koda, slika 2, za proveru greške očitavanja koda, za referentnu kodnu reč se koristi kontrolna kodna reč, tako da je konvertoru koda potrebno n perioda takta da završi proveru ako se nije javila greška očitavanja koda. Trajanje konverzije koda najviše utiče na ukupno vreme izvršenja algoritma rada enkodera. Primenom prethodno opisanog načina rada enkodera u kome se jednom vrši konverzija koda, a kasnije se primenjuje pouzdana metoda provere greške očitavanja koda, vreme merenja pozicije bi se znatno skratilo.



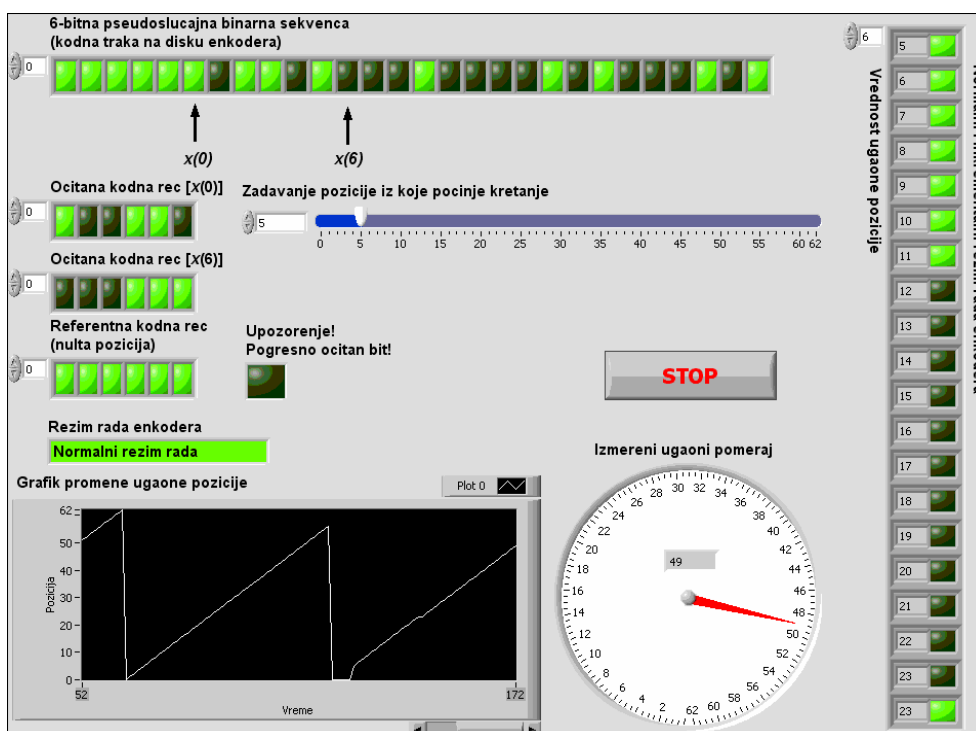
Sl. 3. Algoritam rada pseudoslučajnog pozicionog enkodera.

U scenariju kada se detektuje greška očitavanja koda, predviđeno je da enkoder iz normalnog režima rada pređe u inkrementalni režim rada, pri čemu za inkrementiranje pozicije koristi signale sa sinhronizacije trake. U toku inkrementalnog režima rada nastavlja se formiranje glavne i kontrolne kodne reči, vrši se provera greške očitavanja koda, a kada se ne detektuje greška izvršava se konverzija koda i enkoder se vraća u normalni režim rada. Razni spoljašnji uticaji kao što su temperatura ili vibracije mogu promeniti rastojanje između glava za očitavanje koda, a to kod enkodera visoke rezolucije dovodi do pojave grešaka očitavanja koda.

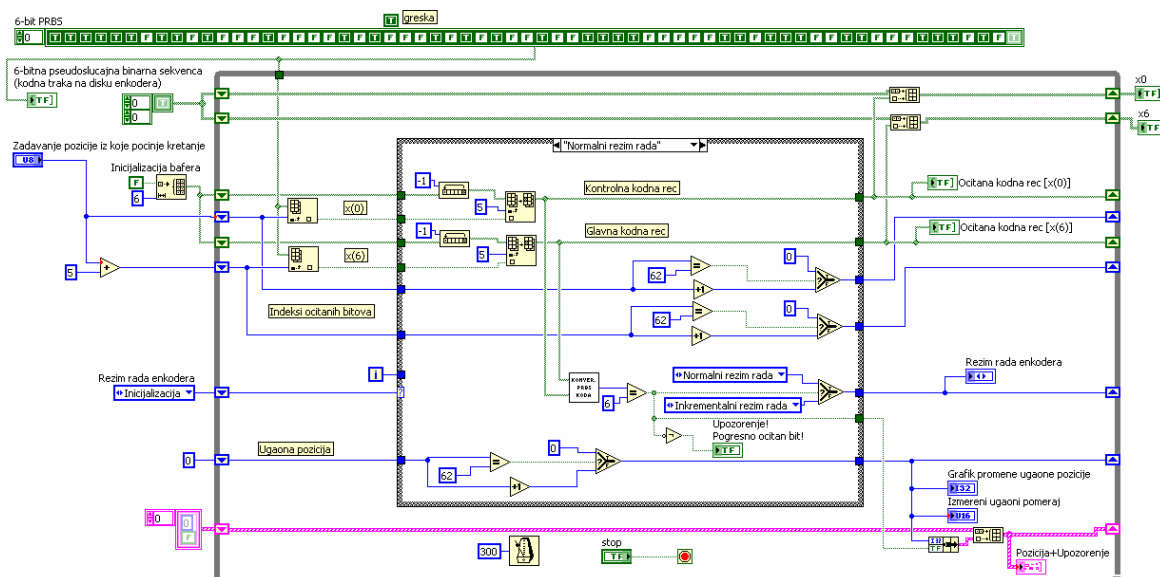
III. SIMULACIJA RADA ENKODERA U LABVIEW OKRUŽENJU

Funkcionalnost rada predloženog enkodera smo analizirali u LabVIEW okruženju implementacijom enkodera sa 6-bitnom pseudoslučajnom binarnom sekvencom, ali se isti principi i zaključci mogu primeniti i za enkoder veće rezolucije. Pseudoslučajna binarna sekvenca koja se koristi za ispisivanje kodne trake je generisana Fibonačijevim generatorom koji ima konfiguraciju [6,5,4,1] povratne sprege za direktni zakon generisanja. U simulatoru enkodera su upisani bitovi kodne trake koji se koriste za formiranje glavne i kontrolne kodne reči u dva zasebna bafera. Za početnu kodnu reč, koja odgovara nultoj poziciji, smo odabrali reč 111111. Na front panelu se može zadati početna pozicija sa koje startuje očitavanje pseudoslučajne kodne trake. Izmerena pozicija se može pratiti na grafiku, a ubačen je i merač sa kazaljkom kako bi se vizuelno prikazao položaj pozicije očitane kodne reči u odnosu na nultu poziciju. Takođe je informacija o poziciji uparena sa indikatorom koji ukazuje da li je informacija validna, odnosno da li se javila greška

očitavanja koda. Primenjeni serijski konvertor koda baziran na Fibonačijevom generatoru koristi konfiguraciju [6,5,2,1] povratne sprege za inverzni zakon generisanja, slika 2. Prilikom konverzije koda sadržaj flip-flopova Fibonačijevog generatora se upoređuje sa kodnom reči 111111, podešenoj za nultu poziciju. U slučaju provere greške očitavanja koda sadržaj flip-flopova Fibonačijevog generatora se upoređuje sa kontrolnom kodnom reči koju dobijamo pomoću druge glave za očitavanje koda. Greška očitane bita može nastati zbog zaprljanosti kodne trake, zbog loše odštampanog koda u nekom delu kodne trake, zbog nekog udarca, vibracija, itd. Enkoder bi u delu kodne trake gde se ne mogu tačno očitati bitovi radio sa smanjenom pouzdanošću u inkrementalnom režimu rada, a u drugim delovima kodne trake bi radio u normalnom režimu rada. U blok dijagramu virtuelnog instrumenta koji simulira rad enkodera, algoritam rada smo implementirali pomoću dizajn šablona mašina stanja, slika 5, a konvertor koda je implementiran kao potprogram. Testirana je funkcionalnost enkodera kada nema grešaka, a zatim su kreirani scenariji sa ubačenim greškama očitavanja koda. Prilikom simulacije rada enkodera za slučaj pojave greške očitane bita, pre pokretanja enkodera, izabran je neki bit pseudoslučajnog koda i namerno je pogrešno upisan. Uočili smo da glava koja prednjači u očitavanju koda $x(6)$ kada očitava pogrešno upisani bit to uzrokuje pogrešno formiranje 6 uzastopnih glavnih kodnih reči, što detektuje metoda provere greške. Taj isti pogrešno upisani bit potom očitava druga zakašnjenja glava $x(0)$ što dovodi do pogrešnog formiranja 6 uzastopnih kontrolnih kodnih reči. Odnosno, jedan pogrešan bit uzrokuje izlazak enkodera iz normalnog režima rada i prelaz u inkrementalni režim rada u 12 susednih vrednosti pozicija.



Sl. 4. Front panel implementiranog pseudoslučajnog pozicionog enkodera u LabVIEW okruženju.



Sl. 5. Blok dijagram implementiranog pseudoslučajnog pozicionog enkodera u LabVIEW okruženju.

Sa većim brojem pogrešno očitanih bitova, enkoder duže ostaje u inkrementalnom režimu rada. Enkoder izlazi iz inkrementalnog režima rada u trenutku kada metoda za detekciju grešaka ne detektuje grešku očitavanja koda. U normalnom režimu rada enkodera, slika 5, konvertor koda u toku provere greške očitavanja koda potroši 6 perioda takta. Ako bi enkoder stalno vršio konverziju koda [5], u najgorem scenariju bi potrošio 62 periode takta za jednu konverziju, što je značajno više nego u predloženom rešenju enkodera. Time je značajno povećana brzina merenja pozicije pomoću predloženog enkodera, odnosno disk enkodera se može brže okretati.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljeno jedno unapređeno rešenje pseudoslučajnog pozicionog enkodera koje ima kraće vreme merenja ugaone pozicije. Koristi se pouzdana metoda provere greške očitavanja koda u normalnom režimu rada enkodera. Rešenje enkodera je implementirano u LabVIEW softveru za jedan smer rotacije, pri čemu je planirana njegova nadogradnja koja bi uključila i promenu smera rotacije, kao i implementacija pomoću FPGA kola ili nekog mikroprocesora.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. (Ugovor o realizaciji i finansiranju naučnoistraživačkog rada NIO u 2023. godini, evidencioni broj 451-03-47/2023-01/200102).

LITERATURA

- [1] S. Das, T.S. Sarkar, B. Chakraborty, H.S. Dutta, "A Simple Approach to Design a Binary Coded Absolute Shaft Encoder," IEEE Sensors Journal, Vol. 16 (8), pp. 2300-2305, 2016. Wanpeng Xu, Ling Zou, Zhipeng Fu,

- [2] L. Kyung-min, G. Taehyeong, B. Young-bong, "Measurement and compensation of errors in absolute encoder using dual absolute encoder system," Microsystem Technologies, Vol. 26 (11), pp. 3469-3476, 2020.
- [3] H. Khalfallah, E.M. Petriu, F.C.A. Groen, "Visual position recovery for an automated guided vehicle," IEEE Trans. Instrum. and Meas., Vol. 41, No. 6, pp. 906 - 910, December 1992.
- [4] D. Denić, M. Arsić, "Checking of pseudorandom code reading correctness," Electronics Letters, Vol. 29 (21), pp. 1843-1844, 1993.
- [5] M. Arsić, D. Denić, "New pseudorandom code reading method applied to position encoders," Electronics Letters, vol.29, pp. 893-894, 1993.
- [6] D. Denić, I. Randelović, M. Rančić, "High-resolution pseudorandom encoder with parallel code reading," Electronics and electrical engineering Nr 7(56), Kaunas, Lithuania, pp. 9-14, 2004.
- [7] D. Denić, G. Miljković, "Code reading synchronization method for pseudorandom position encoders," in Sensor. Actuat. A-Phys. vol. 150, pp. 188-191, 2009
- [8] D. Denić, I. Stojković, "Pseudorandom/natural code converter with parallel feedback logic configuration," in Electron. Lett. vol. 46, pp. 921- 922, 2010.
- [9] G. Miljković, D. Denić, "Redundant and flexible pseudorandom optical rotary encoder", Elektronika IR Elektrotehnika, Kaunas University of Technology, No. 26(6), pp. 10-16, 2020.

ABSTRACT

Optical rotary pseudorandom encoders are an excellent alternative to classic encoders for reliable absolute position measurement in various moving systems. The paper describes a pseudorandom encoder solution that has a shortened angular position determination time, because it does not convert a pseudorandom code into a natural code for each read code word. The presented encoder uses two heads to read the code and in normal operation mode it constantly checks the code reading error instead of conversion. We tested the functionality of the encoder in the LabVIEW software environment.

Contribution to the improvement of the operating speed of the pseudorandom position encoder

Goran Miljković, Ivana Randelović, Dragan Denić