

A.M.Koturović, R.B.Vukanović
 Institut za nuklearne nauke "Vinča"
 P.Fah 522, 11001 Beograd

DIGITALNI REJTMETRI U INSTRUMENTIMA ZAŠTITEZA UDESNA STANJA

DIGITAL RATE METERS IN RADIOLOGICAL INSTRUMENTS FOR ACCIDENT CONDITIONS

REZIME: Iznete su pogodnosti uvođenja digitalnih rejtmeterskih sistema u instrumentima za zaštitu za primenu u udesnim stanjima na nuklearnim sistemima. Izloženi su zahtevi koje instrumentima te vrste nameće udesno stanje. Prikazane su specifične karakteristike digitalnih rejtmetera pogodnog tipa, i ukazano na rešenja kojima se mogu ostvariti određeni zadaci. Na primeru koji je simuliran na računaru, ponašanje jednog rešenja je ilustrovano.

ABSTRACT: Advantages of digital rate meter, when applied in radiological protection instruments for accident conditions, are discussed. Some requirements imposed by accident conditions on such instruments are indicated. The specific properties of digital rate meters are shown and some solutions which enable realization of defined tasks are pointed out. The behavior of one solution is illustrated by an example simulated on the computer.

UVOD¹

Bitno odstupanje od normalnih, operativnih stanja, čije događanje se ne očekuje u toku veka korišćenja nuklearnog postrojenja je ono što se definiše kao udesno stanje. Ono može da prouzrokuje ispuštanje značajnih količina radioaktivnog materijala i ozbiljno ozračivanje personala, ali i populacije u bližoj ili daljoj okolini [1].

Takvi radijacioni incidenti ce ne događaju često, ali su oni, očigledno, potencijalno vrlo opasni zbog posledica koje mogu da pruzrokuju, kako u nuklearnom postrojenju tako i u okolini. To je razlog što se izuzetna pažnja posvećuje udesnim stanjima, pri čemu se ona proučavaju sa svih aspekata, pa i sa stanovišta zaštite od zračenja.

Od zaštite se u takvim situacijama očekuje i traži veoma mnogo [2]. Razume se da u takvoj njenoj delatnosti, adekvatna instrumentacija zauzima značajno mesto. Pri tome treba uočiti da mikroprocesorski merni i instrumentacioni sklopovi postaju sve više sastavni deo zaštite, pa tako i digitalni pristup obradi podataka ulazi potpuno u strukturu savremenih rešenja, a tu su digitalni rejtmetri važan element.

Po svojoj osnovnoj funkciji digitalni rejtmetar daje cifarski podatak o rejtju veličine koju meri, ali to može da radi na razne načine, pri čemu ima različite karakteristike [3][4][5]. Ovde želimo da naglasimo da opštiji pristup digitalnom rejtmeteru pruža dodatne mogućnosti. U ovome radu je

¹ Rad je rezultat istraživanja u projektima 0812 i 0110, finansiranim od strane RFNRS.

upravo dat jedan takav prilaz sa razmatranjima i rezultatima koji mogu da nadju mesto u primeni digitalnih rejtmetera u instrumentima zaštite od zračenja pogodnim za udesna stanja.

ZAHTEVI

Zahtevi koji se nameću instrumentaciji za udesna stanja, a definisani međunarodnim ili nacionalnim standardima i propisima, su mnogobrojni i strogi. To razumljivo, obuhvata i instrumentaciju za zaštitu od zračenja. Pri tome treba imati u vidu da je ova instrumentacija odvojena od njoj analogne instrumentacije koja pripada sigurnosnom sistemu. Nas u ovome radu interesuju samo oni zahtevi koji se odnose na zadatke koje instrumenti zaštite treba da ispune u oblasti mernih mogućnosti.

Nominalno se od instrumentacije u zaštiti od zračenja ne traži ništa posebno, ali ona treba sigurno da obezbedi dobru evidenciju o apsorbovanoj dozi kod svakog radnika u operativnoj zoni i podatak o ozračenosti populacije u okolini. Osim toga instrumentacija treba da obezbedi i jasnu indikaciju o veličini radijacionog polja u cilju ograničavanja pristupa zonama povećanog rizika kako unutar nuklearnog postrojenja tako i u njegovoj okolini [1].

Pošto merena veličina može da se menja pri udesnom stanju vrlo brzo, vreme odgovora instrumenta je važna karakteristika. Ona je opštim standardima definisana i proizvođač mora, primenjujući tu definiciju, da testira i deklarise vreme odgovora [2] [6].

To vreme, prema standardima, treba da je takvo da ako dodje do iznenadnog porasta rejta, rezultat koji će instrument pokazati dostigne vrednost datu izrazom koji sledi, u vremenu manjem od onog koje standard propisuje:

$$N_L + \frac{63}{100} (N_H - N_L) \quad \dots(1)$$

gde su: N_L početni rezultat, a N_H konačan rezultat.

Tražena vremena odgovora koja propisuje standard za rejtmetre korišćene u svrhu merenja jačine ekspozicione doze zavise od mernog opsega u kojem se merenje vrši, i ona su:

- < 10 s za jačinu ekspozicione doze manju od 0.071 nC/kg/s (1 mR/h)
- < 4 s za jačinu ekspozicione doze od 0.071 do 7.17 nC/kg/s (1 i 100 mR/h)
- < 1 s za jačinu ekspozicione doze veću od 7.17 nC/kg/s (100 mR/h)

Treba napomenuti da se na analogan način, posebno definiše vreme odgovora u slučaju kada se događja nagla promena merene veličine na niže i tada su zahtevi blaži, no to nas za udesna stanja ne zanima.

DIGITALNI REJTMETAR

Osnovni problemi [3]

Digitalni rejtmetri su, iako i ranije realizovani u tehnologiji diskretnih ili integrisanih logičkih kola, dobili potpuni smisao tek uvodjenjem mikroprocesora u strukturu instrumentacionih sklopova. To čini da sada hardver u instrumentu samo obezbeđuje dotok i protok osnovnih informacionih podataka, a softverom se upravlja manje ili više složenom obradom podataka i pripremom rezultata za prikaz. Kakve će sve funkcije biti unete u instrument i kakav će biti kvalitet i vrsta rezultata merenja, zavisi sada u velikoj meri i skoro jedino od programa. Na taj način softver, tj. algoritmi za obradu podataka imaju u takvom instrumentu poseban značaj.

Izvor informacija, u slučaju koji mi posmatramo, čini detektor jonizacionog zračenja, koji daje povorku slučajno raspoređenih impulsa u vremenu, čiji je srednji broj srazmeran jačini ekspozicione doze na mestu na kome se detektor nalazi. Zbog toga za digitalni rejtmetar, koji u suštini meri srednji broj impulsa u vremenu, izvorne podatke čini par (N_{ic}, T_{ic}) , gde je N_{ic} broj registrovanih impulsa u toku vremenskog intervala T_{ic} . Samo jedan par podataka (N_{ic}, T_{ic}) već može da služi za dobijanje informacije o rejtu R_i za i -ti merni interval kao :

$$R_i = \frac{N_{ic}}{T_{ic}} \quad \dots(2)$$

Kada je mereni rejst konstantan, ili se može smatrati takvim, problemi koji se javljaju su uglavnom jednostavni. Oni se tiču vrednosti N_{ic} i T_{ic} : ako je N_{ic} malo, rezultat će biti manje pouzdan pošto se radi sa statističkom povorkom impulsa koji se registruju, a ako se insistira na većem N_{ic} merni interval T_{ic} mogao bi da postane suviše dug kada je mereni rejst mali. Evidentno je da se tu rešenje nalazi u kompromisu.

Međutim, pravi problem se pojavljuje kada je mereni rejst promenljiv; što je upravo slučaj kada nastaje udesno stanje. Ako je merni interval kratak da bi se obezbedilo brzo prepoznavanje promena u rejtu, tada kako je gore rečeno, tačnost procene rejta može da bude loša. Obrnuto, rezultat veće tačnosti može se dobiti samo kao srednja vrednost za odgovarajući dug vremenski interval, ali pri tome brze promene kratkog trajanja bivaju neprimećene. Očigledno imamo tipičnu konfliktnu situaciju koja je uvek prisutna kada se radi sa merenjima gde se vrši usrednjavanje.

Ova konfliktna situacija se standardno rešava tako što se dugi vremenski interval iseca na manje delove i dobija k parova (N_{ic}, T_{ic}) , $i = 1, 2, \dots, k$, tj. vrši se takozvano uzorkovanje. Svaki par daje informaciju određene

neizvesnosti za određeni interval T_{ic} , što omogućuje da se odmah sigurno otkriva svaka značajna varijacija u rejtu, ako se u tome intervalu dogodila.

Treba uočiti da smo ovim postupkom zašli u domen uzorkovanja signala - karakterističnu tehniku za postupke digitalne obrade signala: Primenom odgovarajućeg postupka obrade podataka na k sukcesivnih parova (N_{ic}, T_{ic}) mogu se dakle dobiti potpunije informacije o interesantnim parametrima pojave koja se prati. Medjutim treba istaći da problemi koje sa sobom nosi statistička priroda signala ne mogu ni na ovaj način da se uklone već uvek ostaje da se traže kompromisi i pri tome odluči šta je u datom trenutku bitno, a uzimajući u obzir osnovni zadatak posmatranog mernog sistema.

Algoritmi i mogućnosti

Mogući su različiti algoritmi kojima se u digitalnom rejtmtru vrši obrada osnovnih podataka. Svaki od njih ima dobre i loše strane koje karakterišu osnovni rezultat rejta koji daje digitalni rejtmetar [4][5]. Kao primer će se posmatrati algoritam gde se izračunavanje vrši preko pokretne srednje vrednosti, a pri tome se obezbedjuje da je merni interval T_{ic} konstantan :

$$T_{ic} = T \quad \dots(3)$$

Izraz za izračunavanje rejta, u zavisnosti od toga u kojoj fazi merenja se algoritam nalazi, dat je sa :

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^n N_{ic}}{nT} \text{ , za } n \leq k \quad \dots(4) \quad R_n = \frac{\sum_{i=n-k+1}^n N_{ic}}{kT} \text{ , za } n > k \quad \dots(5) \quad (A1)$$

što predstavlja i osnovni algoritam za izračunavanje rejta na osnovu pokretne srednje vrednosti: Sa dovoljno velikim k , i odgovarajućim vremenom uzorkovanja T može se postići željena tačnost i obezbediti da u ustaljenom stanju fluktuacije rezultata budu tolike da ne ometaju sigurnu percepciju rezultata.

Kada dodje do skokovitog porasta rejta merene veličine, sa gornjim algoritmom se dolazi u linearnim koracima od T sekundi do rezultata novog ustaljenog stanja posle kT sekundi. Da bi se zadovoljio zahtev kojim se ograničava vreme odgovora, sledi da $0.63kT$ ne sme da bude veće od vremena definisanog standardom, a koje kako je pokazano, zavisi od mernog opsega.

Razumljivo je da ova karakteristika potpuno ograničava mogućnost korišćenja ovakvog digitalnog rejtmtra u udesnim stanjima. Medjutim, principi na kojima počiva digitalna obrada signala upravo omogućavaju da se nadje rešenje koje je pogodno. Takvim rešenjem se obezbedjuje vreme odgovora

od $2T$ sekundi. Ono počiva na postupku da posle svakog mernog intervala uzorkovanja, kojim se dobija N_{1c} , može da se izračuna parcijalni rejst R_{np} kao:

$$R_{np} = \frac{N_{nc}}{T} \quad \dots(6)$$

i poredi sa prethodnim rejtom, preko njihove razlike.

$$|R_{np} - R_{(n-1)p}| > \theta \quad \dots(7)$$

Ako je ta razlika veća od nekog iznosa θ , koji se definiše unapred, tada se resetuje ceo sistem izračunavanja, tj: uzima se da je $n = 1$. Algoritam se dakle dopunjava sa:

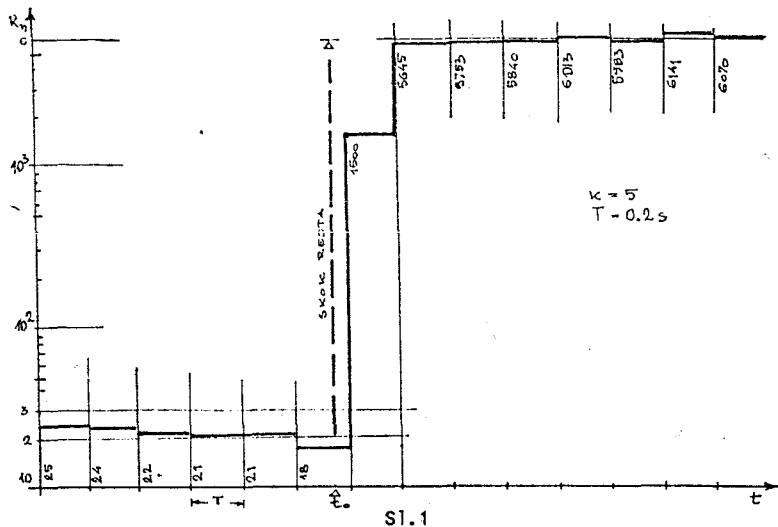
Ako je $|R_{np} - R_{(n-1)p}| > \theta$, resetovati sve i staviti $n = 1$

(A1.)

Posle skokovite promene, pošto je priroda merene veličine statistička, dok ne dodje do dovoljnog usrednjavanja rezultati mogu znatno da fluktuiraju i budu nepogodni za brzu i sigurnu percepciju. Da bi se to izbeglo može da se izvrši dalja modifikacija algoritma sa pokretnom srednjom vrednošću otežinjavanjem pojedinačnih podataka. Bitno je ovde imati u vidu da se promena rejta, u opštem slučaju, ne događa sinhrono sa početkom intervala uzorkovanja T . Dakle, kao prvi siguran podatak može se smatrati podatak, označen sada sa N_{1c} , dobijen u prvom mernom intervalu iza onog u kome je utvrđeno važenje relacije (7). Najjednostavnije je tom podatku dati najveći značaj, koji se postepeno umanjuje sa pridožavljenjem novih podataka sve do dolaska u režim standardnog algoritma pokretne srednje vrednosti. Za taj period se rejst izračunava po izrazu:

$$R_n = \frac{(k-n)N_{1c} + \sum_{i=1}^n N_{1c}}{kT}, \text{ za } n \leq k \quad \dots(8)$$

Kada ponovo postane $n > k$ tada se dalje izračunavanje obavlja po izrazu(5) iz algoritma A1. Ponašanje tako modifikovanog algoritma prikazano je na Sl.1, koja je formirana simuliranjem signala statističke prirode.

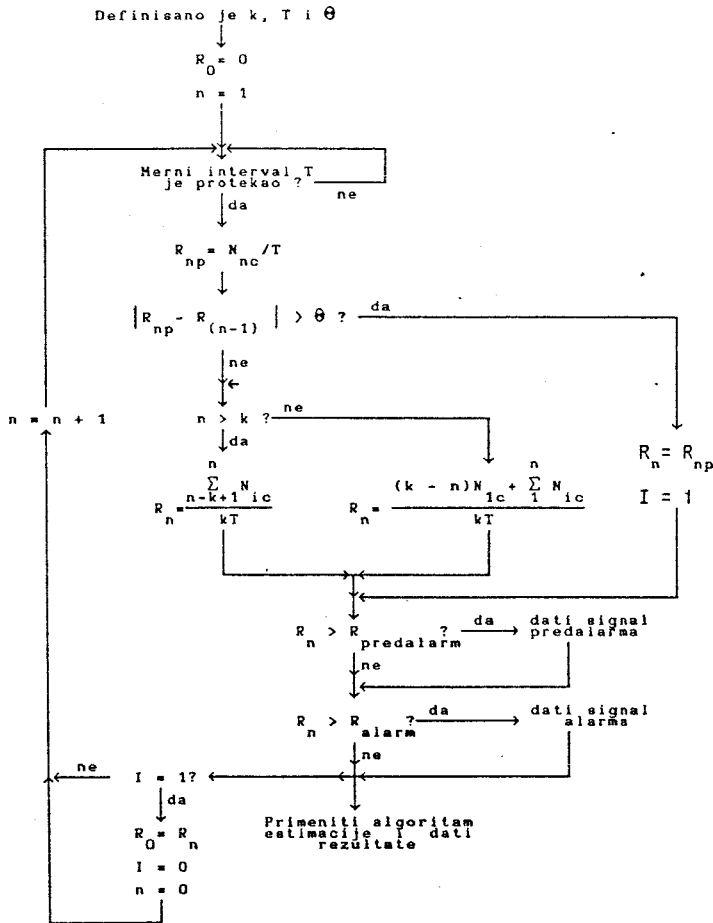


U svakom konkretnom slučaju moraju se pogodno izabrati k , T i θ , tako da budu zadovoljeni zahtevi o očekivanom nivou rejta u udesnom stanju, brzini odgovora i prihvatljivim greškama i fluktuacijama u sukcesivnim rezultatima koji se prikazuju. Kvalitet rešenja sa izabranim parametrima može da se veoma jednostavno proveri odgovarajućim simulacijama: Podvucimo činjenicu da svi parametri u suštini zavise i od upotrebljenog detektora jonizacionog zračenja.

Razume se da digitalni rejtmeter ima mogućnost postavljanja predalarmnih i alarmnih nivoa, za slučaj kada prelazak u udesno stanje nije eksplozivan, već je porast rejta takav da algoritam linarno prati takav porast.

Ovde treba uočiti važnu činjenicu da digitalna obrada signala omogućava da se vrši procena daljeg razvoja situacije - estimacija: Polazeći od niza pojedinačnih podataka N_{ic} , uz pomoć odgovarajućeg softvera, obradom tih sukcesivnih podataka može se utvrditi smer razvoja praćene situacije, i proceniti brzina evolucije posmatrane pojave, pa i oceniti u kom vremenu se može očekivati dostizanje predalarmnog ili alarmnog nivoa. Na taj način se u instrumentu zaštite može da uvede sistem ranog upozorenja. Ovo bi službi zaštite omogućavalo da predje u režim rada povećane pažnje i pripremnog alarmnog stanja. Tu je problem dobrog softvera koji bi obezbedjivao dovoljno sigurnu estimaciju, da se ne bi u normalnom radu osoblje zaštite dovodilo u stanje pripreme i predalarmnog režima. Taj problem koji zaslužuje pažnju, i svakako je zadovoljavajuće rešiv u granicama odredjenih kompromisa koji su ovde uslovljeni statističkom prirodom merene pojave, opsegom onoga što se smatra normalnim operativnim radom, i razumnim vremenom potrebnim za sva izračunavanja u okviru formiranog estimacionog algoritma.

Celovit šematski prikaz rada digitalnog rejtmetskog sistema na gore izloženim principima, dat je na uprošćenom dijagramu toka operacija na sl.2.



Sl.2

Dijagram je formiran tako da omogućava brzo reagovanje instrumenta na promene rejta i kada te promene ne vode u udesno stanje, tj. u normalnom radu. Time se može ostvariti sugestija da je poželjno da instrument za udesno stanje može da se koristi i u opsegu normalnog rada: Uz ovo istaknimo da se u ovakav instrumentacioni sklop može uvesti i adaptivan sistem rada: merni interval T bi mogao da se menja u zavisnosti od nivoa na kome se merena veličina nalazi - da bi bilo što kraći kada taj mereni nivo raste.

Parametar k takodje može da bude predmet adaptacije sa nivoom, u sprezi sa T ili sam.

ZAKLJUČAK

Pokazane mogućnosti digitalnog rejtmetra u instrumentima zaštite za primenu u udesnim stanjima ukazuju na to da bi takav tip instrumenta mogao da ima, osim osnovnih funkcija koje mu nameću uslovi za takvu instrumentaciju, i dodatne elemente. Ti dodatni elementi, kao što je moguća estimacija o evoluciji praćene pojave i ocena prilazjenja predalarnom ili alarmnom nivou, ili brzo reagovanje instrumenta na svaku značajniju promenu, a ne samo onu koju uzrokuje udesno stanje, su karakteristike instrumenta koje se mogu smatrati vrlo korisnim jer poboljšavaju operativnost i efikasnost rada sistema zaštite.

Kako problem estimacije, tako i problem adaptacije su nesumnjivo veoma interesantni, ali u ovome radu oni nisu mogli da budu predmet detaljne analize, već se na njih samo ukazuje kao na elemente koji bi mogli korisno da obogate rad digitalnog rejtmetra u instrumentima zaštite od zračenja. Očigledno je da su u radu date samo konture iznetih ideja: Medjutim treba naglasiti da u njihovoj daljoj razradi mora da se vodi računa o tome da se instrument ne "optereti" mnogim mogućnostima, jer se u instrumentima ove vrste mora sačuvati jednostavnost i osigurati jasna i pouzdana percepcija.

REFERENCE

1. Safe Operation of Research Reactors and Critical Assemblies, Vienna, IAEA, 1984
2. IEC Standard, Publication 951-1 : Radiation Monitoring Equipment for Accident and Post-accident Conditions in Nuclear Power Plants: Part 1 : General requirements; Geneve, IEC, 1988
3. A.M.Koturović : "The rate estimation of random pulse trains by microprocessor based ratemeter"; Symposium on Measurement and Estimation, Proceeding, pp. 223-228, Bressanone, 1984
4. A.M.Koturović, R.B.Vukanović : "Algorithms for counting rate - convenient for digital radiation monitors"; Acta Physica Hungarica, v:59, No.1-2, pp. 127-130, 1986
5. Z.Savić: "Some software algorithms for microprocessor ratemeters"; Nucl.Instr. and Meth., vol. A301, pp. 517-522, 1991
6. IEC Standard, Publication 532 : Installed Exposure Rate Meters, Warning Assemblies and Monitors for X or Gamma Radiation of Energy between 80 keV and 3 MeV, Geneve, IEC, 1976