

Zanesljivost merilnih sistemov

L. Mikola, D. Donlagić

KLJUČNE BESEDE: zanesljivost, verjetnost, redundanca, merilni sistem, elektronski sistemi, aparturna oprema

POVZETEK: V članku je opozorjeno na problematiko zanesljivosti s posebnih poudarkom na merilnih sistemih. Nakazan je postopek za določanje zanesljivosti aparturne opreme in nekaj načinov za njeno povečanje. Opozorjeno je na literaturo, ki omogoča temeljitejšo in poglobljeno obravnavo.

Reliability of Measuring Systems

KEY WORDS: reliability, probability, redundancy, measuring systems, electronic systems, hardware

ABSTRACT: The paper draws attention to the problems of reliability with special emphasis on measuring systems. Presented is a method for the determination of hardware reliability and some ways of improving it. Included is a list of relevant references.

1. Uvod

Merilni sistemi so pomembna sestavina kompleksnih tehničnih sistemov. Od njih je v veliki meri odvisno, če bodo nadzorovani procesi potekali znotraj zahtevanih območij. Odpoved merilnega sistema lahko povzroči zaustavitev procesa, v kritičnejših primerih pa tudi nevarnost za ljudi in okolje. Zato je zanesljivo delovanje merilnih sistemov zelo pomembno in ga je treba analizirati že v fazi načrtovanja sistema in nadaljevati v fazi realizacije, oz. zanesljivost "vgraditi" v sistem. Ob zagotovitvi ustreznih obratovalnih pogojev je nato mogoče pričakovati, da bo sistem opravljal svojo osnovno funkcijo z ustrežno visoko zanesljivostjo.

2. Zanesljivost v merilni tehniki

Zanesljivost $R(t)$ (a. reliability, n. Zuverlässigkeit), je definirana kot verjetnost uspešnega delovanja opazovane enote (elementa, naprave, sistema) znotraj zahtevanih meja v določenem časovnem intervalu. Nanjo vpliva več parametrov, od zasnove, kakovosti sestavnih delov, vplivov vplivnih veličin, do človeškega faktorja. Te vplive je mogoče zajeti in obdelati s statističnimi metodami in verjetnostnim računom ter podati kvantitativno ali kvalitativno oceno zanesljivosti. Pogoji za realno ocenjevanje pa je temeljito poznavanje obravnavanega sistema in razmer, v katerih bo opravljal svojo funkcijo.

V merilni tehniki je znana zahteva, naj bo izmerjena vrednost fizikalne veličine enaka ali vsaj dovolj blizu pravi vrednosti. Zato se od zanesljivega sistema pričakuje, da bo sposoben dati merilne rezultate, ki se bodo le malo razlikovali od prave vrednosti merjene veličine, da bo sipanje rezultatov pri ponovljenih merjen-

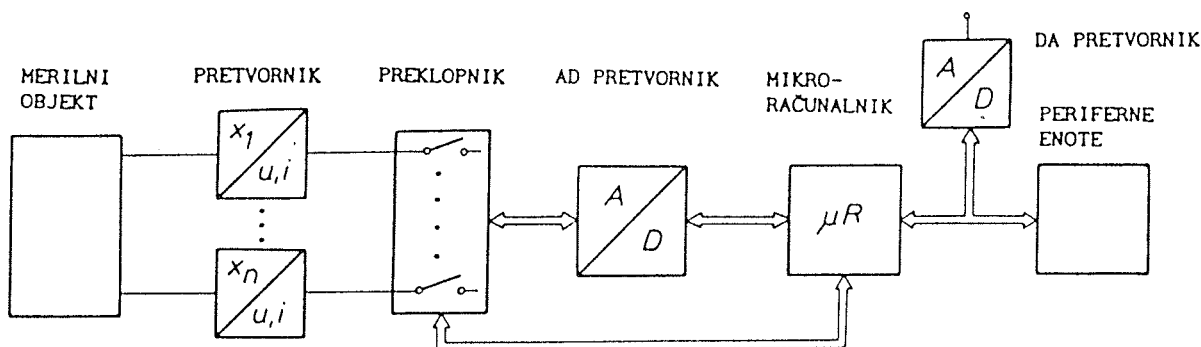
jih čim manjše in da bo časovna stabilnost lastnosti sistema visoka. Osnovna informacija o izpolnjevanju naštetih zahtev je dana s podatkom o razredu merilnega sistema.

Sodobni merilni sistemi so sestavljeni iz množice elementov. Pri obravnavi njihove zanesljivosti se izhaja iz zanesljivosti posameznih elementov, lahko pa tudi iz zanesljivosti kompleksnejših sestavnih delov, če so dosegljivi ustrezni osnovni podatki. Nato se postopno prehaja na določitev zanesljivosti celotnega sistema. Spremembe lastnosti osnovnih elementov vplivajo na spremembo lastnosti sistema, kar lahko privede do prenehanja delovanja (popolne odpovedi) ali pa delovanja izven zahtevanih območij (delne odpovedi). V tem drugem primeru bi lahko merilni sistem sicer posredoval merilne rezultate, vendar bi ti bili izven območij pogreškov, ki jih zagotavlja podatek o razredu sistema. Kakorkoli že, sistem v nobenem od teh primerov ne opravlja svoje funkcije tako, kot je od njega zahtevano.

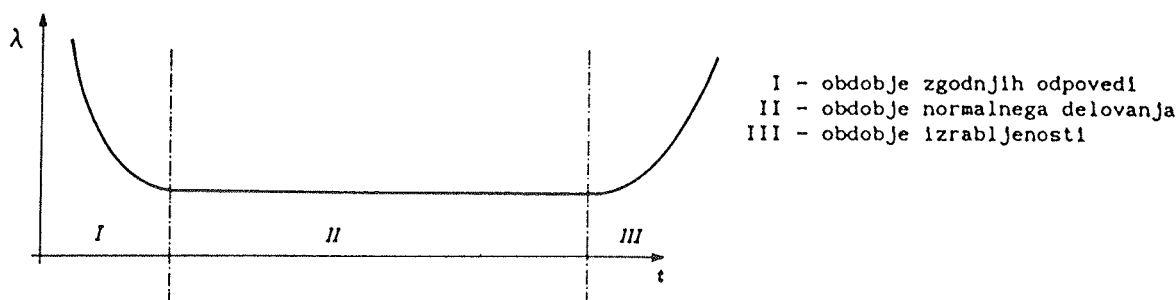
V sodobnih merilnih sistemih so že pogosto vgrajene tehnične rešitve, ki povečujejo zanesljivost. Taki so na primer sistemi s samotestiranjem in sistemi s samoumerjanjem.

3. Zanesljivost aparturne opreme merilnih sistemov

Sodobni merilni sistem zbira in obdeluje merilne podatke o več enakih ali različnih fizikalnih veličinah, od katerih je odvisen potek nadzorovanega procesa. Tak merilni sistem (slika 1) je skupina večih naprav, med katerimi je praviloma mikroračunalnik, ki krmili delovanje celotnega



Slika 1: Shema merilnega sistema


Slika 2: Potek pogostosti odpovedi $\lambda(t)$

sistema, obdeluje podatke, posluhuje periferne enote itd.

Ocenjevanje zanesljivosti sistemov se praviloma naša na obdobje normalnega delovanja v njihovi življenjski dobi, to je na obdobje, ki leži med obdobjem zgodnjih odpovedi in obdobjem izrabljenosti, v katerih je opažena večja vrednost pogostosti odpovedi $\lambda(t)$. V obravnavanem obdobju velja izhodišče $\lambda(t) = \text{konst.}$

To izhodišče je v elektrotehniki pogosto uporabljano, posebej pa v elektroniki. Sodobni merilni sistemi so praktično elektronski sistemi, zato je mogoče zanesljivost njihovih elementov oceniti z izrazom (2):

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (1)$$

Čas t (h) je časovni interval opazovanja, imenovan tudi čas misije. $\lambda(t)$ (h^{-1}) je pogostost odpovedi, ki je vhodni podatek in mora biti poznan ali predhodno določen za vsak element, upoštevajoč vse vplivne veličine, od katerih je $\lambda(t)$ odvisna. Pomembno je, da se ugotovi dovolj veljaven podatek $\lambda(t)$, s čimer je tudi ocena zanesljivosti veljavnejša.

Pogosto naletimo na problem kako dobiti realne vhodne podatke za $\lambda(t)$. Včasih jih sicer dajo proizvajalci elementov ali sklopov, velikokrat pa mora ustrezen podatek oblikovati uporabnik sam, izhajajoč iz nekega osnovnega podatka, ki ga priredi za svoje specifične potrebe, oz.

razmere. Način priprave vhodnih podatkov je razdelan v ustrezni literaturi (7).

Nekoliko pregledneje je mogoče primerjati numerične rezultate, če opazujemo zanesljivosti komplementarno verjetnost odpovedi $Q(t)$.

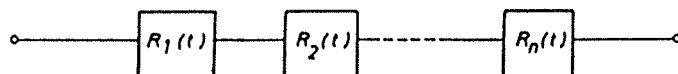
$$Q(t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

Na raven sistema se z ravni elementov praviloma prehaja z upoštevanjem zaporedne vezave v smislu zanesljivosti, kar pomeni, da odpoved kateregakoli elementa povzroči odpoved sistema.

Zanesljivost sistema je tedaj (3):

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \dots R_n(t) \quad (3)$$

Kadar gre za popravljive sisteme, kar merilni sistemi povečini so, se računa razpoložljivost $A(t)$, ki pomeni verjetnost, da bo sistem ob določenem (zahtevanem) trenutku na razpolago za opravljanje svoje funkcije. Razpoložljivost se računa z izrazom (2):



Slika 3: Zaporedna vezava

$$A(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu) \cdot t} \quad (4)$$

$\mu(t) (h^{-1})$ je pogostost popravil, ki jo je mogoče izračunati z izrazom (2):

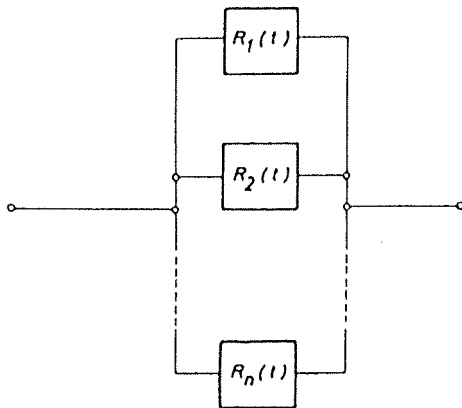
$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR} \quad (5)$$

MTTR (h) je srednji čas popravila obravnavanega sistema, torej tudi vhodni podatek, odvisen od vrste faktorjev: izkušenosti tehničnega kadra, dosegljivosti rezervnih delov, obsega in vrste okvare itd.

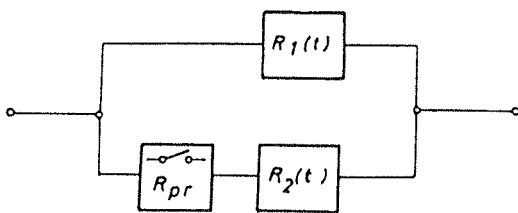
Tudi v primeru popravljivih sistemov je ugodneje vrednotiti s $Q_1(t)$, verjetnostjo, da ob zahtevanem trenutku sistem ne bo sposoben opravljati svoje funkcije.

$$Q_1(t) = 1 - A(t) \quad (6)$$

Posebno obravnavo, s specifičnimi pristopi, zahteva uporabljena programska oprema. Ta sicer ni izpostavljena staranju kot aparaturna oprema, vendar je važno, katere faze so pri obravnavi zajete, npr. faza zasnove, izdelave, testiranja, uporabe. Pristopi k obravnavi so opredeljeni z določenimi modeli. Področje zanesljivosti programske opreme, ki je vsekakor pomembna sestavina merilnih sistemov, v tem članku ni obravnavano.



Slika 4: Sistem z aktivno redundanco



Slika 5: Sistem s pasivno redundanco

4. Sistemi s povečano zanesljivostjo

Merilni sistemi, ki opravljajo svojo funkcijo v izrazito pomembnih tehničnih ali drugih sistemih, morajo imeti visoko zanesljivost. Kadar so vse možnosti povečevanja zanesljivosti enojnega sistema izrabljene, se nadaljnje povečanje lahko doseže z uvedbo redundance, to je nekega paralelnega sistema, ki lahko prevzame nalogo osnovnega, če le-ta odpove. Redundanca je lahko aktivna, kar pomeni, da sta sistema delujoča in obema teče življenjska doba, ali pa pasivna, kadar se redundančni sistem vklopi šele v trenutku, ko osnovni odpove. V primeru izredno pomembnih naprav, npr. takih, katerih okvare lahko povzročijo nevarnost ljudem in okolju, mora biti redundanca večkratna, da se dosežejo nizke verjetnosti odpovedi celotnega sistema.

Enostaven primer sheme aktivnega redundančnega sistema je podan na sliki 4.

V smislu zanesljivosti je to vzporedna vezava. Zanesljivost takega sistema se izračuna z izrazom (3):

$$R_s(t) = 1 - Q_s(t) \quad (7)$$

$$Q_s(t) = Q_1(t) \cdot Q_2(t) \dots Q_n(t) \quad (8)$$

Primer sistema s pasivno redundanco z enim redundančnim sistemom je prikazan na sliki 5.

Izračun zanesljivosti $R_s(t)$ se v tem primeru izračuna z izrazom (2):

$$R_s(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_1 \cdot t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{-\lambda_2 \cdot t} \quad (9)$$

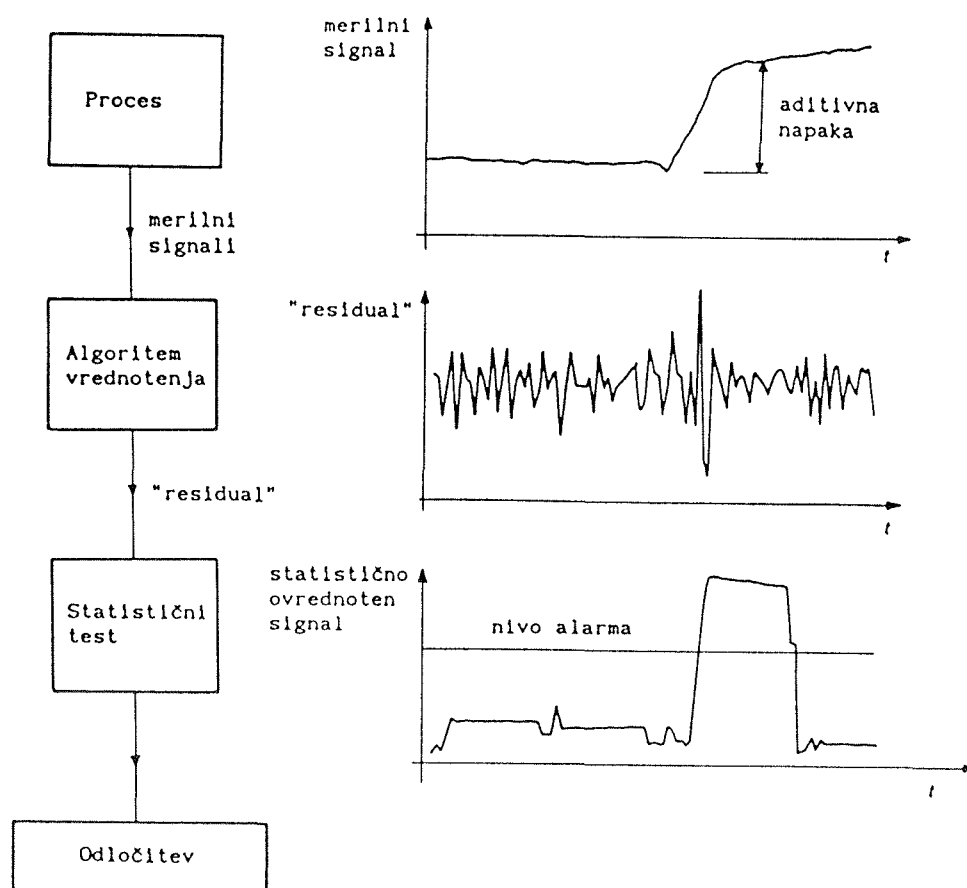
Predpostavljeno je, da je v tem primeru zanesljivost preklopne naprave $R_{pr} = 1$. Če to ni zagotovljeno, je treba upoštevati tudi možnost odpovedi preklopne naprave.

5. Analitična redundanca

Analitična redundanca se uporabi takrat, kadar razen od merilnega sistema dobljene informacije obstajajo še nadaljnja znanja o tehničnem procesu ali merilnem sistemu, ki se jih da upodobiti z matematičnim modelom. Ta je vgrajen v procesni računalnik, ki povezan v proces preverja merjene vrednosti in njihovo verjetnost. Razen istovrstnih veličin se lahko primerjajo tudi razlikujoče se in ne le neposredno izmerjene, pač pa tudi izračunane.

Proces je v tem primeru sestavljen iz dveh etap: tvorbe "residuala" (signala indikacije sprememb) in odločitve. Dokazano je, da se učinkovit sistem da doseči le z učinkovitim procesom generiranja "residuala".

Koncept sistema z analitično redundanco je prikazan na sliki 6.



Slika 6: Koncept analitične redundance

Namesto redundančne aparaturne opreme je v tem primeru uporabljena redundančna informacija.

Tak način kontrole verjetnosti pomaga tudi v izjemnih situacijah pri odločitvi, če so nenavadni merilni signali verjetni, ali pa kaže na izredne pogonske razmere.

6. Rezultati izračunov

Po v poglavjih 3 in 4 nakazanem načinu je bila opravljena kvantitativna ocena zanesljivosti aparaturne opreme merilnega sistema predstavljenega na sliki 1.

Izračun je bil izveden za enojni sistem, za sistem z aktivno redundanco, sistem s pasivno redundanco in

enojni sistem upoštevajoč možnost popravila. Za zadnji primer je bil privzet podatek MTTR = 10 ur ($\mu = 0,1 \text{ h}^{-1}$). Rezultati so podani za tri čase opazovanja in so predstavljeni v tabeli T - 1.

Dobljena razmerja potrjujejo teoretična izhodišča. Za popolno informacijo in končno izbiro določene konfiguracije sistema pa je potrebno oceniti še zanesljivost programske opreme in celotni sistem tudi ekonomsko ovrednotiti.

7. Zaključek

Visoka zanesljivost delovanja merilnih sistemov je ena temeljnih zahtev, posebej v primerih nadzora ljudem in

Tabela T – 1: Rezultati izračunov zanesljivosti

Vrsta sistema	Q_s		
	$t = 10 \text{ ur}$	$t = 100 \text{ ur}$	$t = 1000 \text{ ur}$
enojni	$1,56 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-2}$	$1,45 \cdot 10^{-1}$
z akt. redundanco	$2,45 \cdot 10^{-6}$	$2,42 \cdot 10^{-4}$	$2,10 \cdot 10^{-2}$
s pas. redundanco	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
enojni popravljivi	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-3}$

okolju nevarnih procesov. Zato mora biti prisotna od snovanja do obratovanja sistema, vse do zaključka njegove življenjske dobe, ko merilni sistem preseže dovoljeno verjetnost odpovedi. Kadar so izražene posebne zahteve, je nujno ukrepati tako, da je zanesljivost zelo visoka, ne glede na stroške.

Problematika zanesljivosti je široka, prisotna je praktično v vseh vejah tehnike. Zanesljivost kot področje je doživela širok razmah predvsem pri razvoju zračnega prometa, vesoljskih raziskav in jedrske energetike. Pri količkah pomembnih sistemih so analize zanesljivosti nujne.

8. Literatura

1. Schröder, E.: Zuverlässigkeit von Mess- und Automatisierungseinrichtungen, Carl Hanser Verlag München Wien 1984

2. Arsenault, J. E. Roberts, J. A.: Reliability and Maintainability of Electronic Systems, Computer Science Press, 1980

3. Reinschke, K., Ušakov, I. A.: Zuverlässigkeitsstrukturen, R. Olden- burg Verlag München Wien 1988

4. Bajenescu, T. I.: Zuverlässigkeit elektronischer Komponenten, VDE- Verlag GmbH Berlin, Offenbach 1985

5. Basseville, M.: Detecting Changes in Signals and Systems-A, Automatica, Vol. 24, No. 3, 1988, 309-324

6. Prock, J.: Ein allgemeines Konzept zur online-Messfehlererkennung in dynamischen Systemen mittels analytischer Redundanz, Automatisierungstechnik 37 (1989)8, 289-294

7. Military Standardization Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 217 C, 1979

*mag. Ladislav MIKOLA, dipl. ing.;
dr. Dali DONLAGIĆ, dipl. ing.
Univerza v Mariboru, Tehniška fakulteta
- Elektrotehnika, računalništvo in informatika
Smetanova 17, 62000 MARIBOR*

Prispelo: 16.06.92

Sprejeto: 26.06.92