



ANALIZA RIZIKA PREKIDAČA POMOĆU INTERVALNIH VEROVATNOĆA CIRCUIT BREAKER RISK ANALYSIS USING INTERVAL PROBABILITIES

Jelena D. Velimirović, Matematički institut SANU, Beograd

KRATAK SADRŽAJ

Neizvesnošću nekoliko parametara koji utiču na pouzdanost prekidača se upravlja korišćenjem metoda teorije verovatnoće i odlučivanja. Dijagrami uticaja—kao proširene Bajesove mrežne funkcije sa intervalnim verovatnoćama predstavljenim kroz skupove verodostojnosti—odabrani su za scenario prediktivnog modeliranja zamene najkritičnijih prekidača u optimalnom vremenu. Naime, na osnovu dostupnih podataka o prekidačima i drugim varijablama koje utiču na razmatrani model složenog elektroenergetskog sistema, grupa stručnjaka je bila u mogućnosti da proceni situaciju koristeći intervalne verovatnoće umesto uobičajenih verovatnoća. Može se zaključiti da predloženi pristup jasno ukazuje na prednosti korišćenja intervalne verovatnoće pri donošenju odluka u sistemima kakav je razmatran u ovom radu.

Ključne reči: Dijagrami uticaja, intervalne verovatnoće, rizik, zamena prekidača

ABSTRACT

The uncertainty of several parameters that affect the reliability of the switch is managed using the methods of probability theory and decision making. Influence diagrams — as extended Bayesian network functions with interval probabilities represented through credal sets — were selected for the predictive modeling scenario of replacing the most critical switches at the optimal time. Namely, based on the available data on switches and other variables that affect the considered model of a complex power system, a group of experts was able to assess the situation using interval probabilities instead of the usual probabilities. It can be concluded that the proposed approach clearly indicates the advantages of using interval probability in decision making in systems as discussed in this paper

Keywords: Influence diagrams, interval probabilities, risk, switch replacement

1. UVOD

Osnovni cilj svakog distributivnog preduzeća je očuvanje i optimizacija kvaliteta svog poslovanja i usluga. Distributivna mreža postaje sve efikasnija zbog velike količine podataka koji se prikupljaju, čuvaju i analiziraju korišćenjem novih tehnologija. Ova analiza pruža zainteresovanim stranama nove uvide koje nije moguće steći konvencionalnom informacionom tehnologijom (IT) i na osnovu kojih se mogu donositi odluke sa dobrim informacijama. Savremeni elektroenergetski sistemi suočavaju se sa ozbiljnim izazovima kao što su integracija obnovljivih izvora energije i aktivne potražnje, kao i neizvesnost koju ona unosi u ceo sistem rada, planiranja i kontrole električne energije. Održavanje pouzdanosti, minimiziranje operativnih troškova i ostvarivanje profita teško je postići bez odgovarajuće analize rizika i upravljanja neizvesnošću [1].

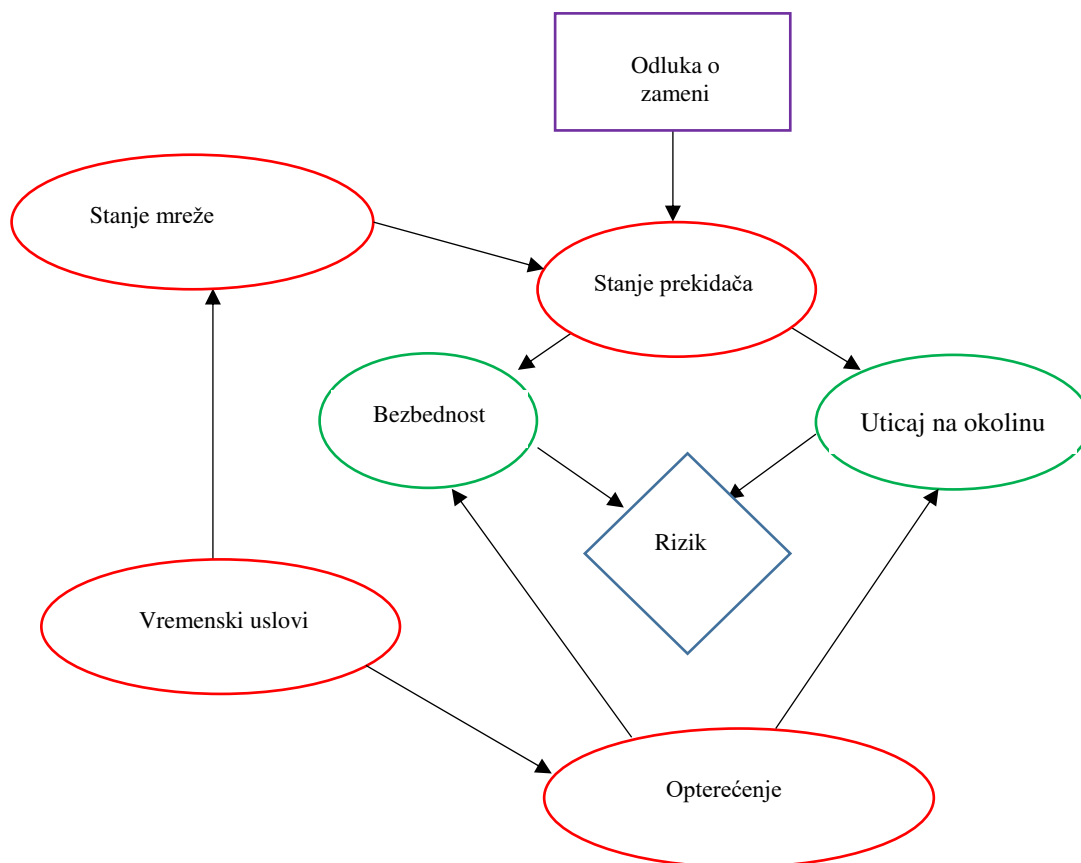
Prekidač je vitalni element energetskog sistema, zbog čega postoji potreba za njihovim kontinuiranim unapređenjem kroz analizu povećanja pouzdanosti i određivanje preostalog veka trajanja. To se postiže stalnim praćenjem rada, redovnim održavanjem i analizom podataka iz njegove eksploatacije. Redovno praćenje rada prekidača, kao i indikatora njegovog stanja, daje saznanje o njegovoj pouzdanosti, odnosno preostalom veku trajanja. Na osnovu takvih podataka može se planirati isplativost zamene, njen obim, kao i vremenski okvir [2,3]. Zamena najrizičnijih prekidača je dobra osnova za povećanje pouzdanosti distributivnog sistema, smanjenje količine neisporučene električne energije i na taj način eliminisanje dodatnog angažovanja radne snage ukoliko se prekidač zameni pre njegovog neplaniranog kvara.

Iz ovih razloga postoji potreba zamene prekidača starijih tehnologija, zbog čega je neophodno utvrditi kriterijume i tempo njihove zamene. Analiza stanja prekidača i utvrđivanje rizika omogućilo bi uvid u broj najrizičnijih prekidača. Takođe, sa aspekta stabilnosti energetskog sistema i ekonomičnosti poslovanja, definisali bi se prekidači čiji kvarovi mogu izazvati najveće posledice. Na ovaj način treba predložiti za hitnu zamenu prekidače sa najvećim rizikom [4].

U ovom radu koristi se nova tehnika zasnovana na dijagramima uticaja (ID) sa intervalnim verovatnoćama za prognozu kvara prekidača. Na osnovu izvedenih zaključaka o uticaju širine intervala na donošenje odluke za razmatrani scenario, grupa stručnjaka može da proceni sve razmatrane varijable sa intervalskim verovatnoćama. Cilj je da predvidi najbolji scenario zamene najkritičnijih prekidača u optimalnom vremenu. Novina ove metode je korišćenje intervalnih verovatnoća u standardnim dijagramima uticaja. Metoda se lako može primeniti na bilo koju drugu vrstu procesa odlučivanja predstavljenog dijagramom uticaja.

2. DIJAGRAM UTICAJA ZA ODREĐIVANJE RIZIKA PREKIDAČA

Dijagrami uticaja (ID), kao proširenja Bajesovih mreža, predloženi su u [5], kao alat za pojednostavljenje modelovanja i analize stabala odlučivanja. Oni su grafička pomoć pri donošenju odluka u uslovima neizvesnosti i predstavljaju uzročne veze mogućih uzroka i posledica. Za razliku od stabla odlučivanja, ID jasnije pokazuje zavisnosti među varijablama. Zahvaljujući jasnim vezama između varijabli, ID-ovi omogućavaju pregled mogućih verovatnoća događaja tokom donošenja odluka [6]. I BN i ID su mreže zasnovane na verovatnoćama. Razlika je u tome što se BN koristi za ažuriranje verovanja, dok se ID koristi za rasuđivanje o donošenju odluka pod neizvesnošću [7]. Model procene rizika strategije održavanja prekidača koji se razmatra u ovom radu a baziran je na ID, prikazan je na slici 1.



Slika 1. Model za procenu rizika prekidača

Ovalni čvorovi predstavljaju čvorove sa različitim stepenom verovatnoće realizacije. Pravougaonik je čvor odluke, dok je romb predstavljen izlazni rezultat. Prema dijagramu prikazanom na slici 1, ukupan rizik od prekidača se izračunava kao kombinacija dva pojedinačna rizika, a to su:

- bezbednosni rizik, prvenstveno vezan za zdravlje i bezbednost rukovaoca,

- rizik po životnu sredinu (curenje gasa, izlivanje ulja ili u zemljište ili vodotoke, paljenja ulja i njegovog isparavanja).

Razmatraju se tri moguće odluke: mali remont prekidača, veliki remont ili ne raditi ništa. Postoje tri stanja prekidača: dobro (OK), loše u smislu problema pri zatvaranju kontakata (FC) i loše u smislu otvaranja kontakata (FO).

2.1. Parametri modela

U ovom radu, za zadatak definisan na slici 1, formirana je grupa od 5 stručnjaka. Na osnovu mišljenja stručnjaka na osnovu prethodno prikupljenih podataka, utvrđene su verovatnoće pojave svakog od spoljašnjih faktora: vremenskih uslova, opterećenja i stanja mreže. Takođe, stručnjaci određuju uslovne verovatnoće na osnovu kojih se izračunavaju vrednosti stanja u čvorovima, bezbednost i okruženje. Vrednosti verovatnoće odgovaraju srednjim vrednostima verovatnoće dobijenim od stručnjaka. U tabelama od 1 do 5 prikazane su procenjene verovatnoće događaja.

Tabela 1. Verovatnoća pojave različitih vremenskih uslova u narednom periodu.

Vremenski uslovi	Opis	Verovatnoća [%]
Loši	Velike vremenske nepogode	50
Srednji	Nema ekstremnih temperatura ispod - 20 stepeni	30
Dobri	Dobri vremenski uslovi, bez ekstremnih temperatura ispod - 10 stepeni	20

Tabela 2. Uslovne verovatnoće stanja mreže.

Odluka	Stanje mreže	OK [%]	FC [%]	FO [%]
Mali remont	Dobro	70	20	10
Mali remont	Loše	80	10	10
Veliki remont	Dobro	80	10	10
Veliki remont	Loše	90	10	0
Bez akcije	Dobro	60	20	20
Do Nothing	Loše	70	20	10

Tabela 3. Uslovne verovatnoće nivoa opterećenja mreže.

Vreme	Opterećenje		
	Malo opterećenje [%]	Srednje [%]	Visoko [%]
Loše	10	30	60
Srednje	30	50	20
Dobro	60	30	10

Tabela 4. Uslovne verovatnoće stanja prekidača

Vreme	Stanje mreže	
	Dobri uslovi, bez povećanja broja kvarova [%]	Loši uslovi – nema održavanja, povećan broj kvarova [%]
Loše	60	40
Srednje	50	50
Dobro	40	60

Tabela 5. Uslovne verovatnoće posledica kvara

Opterećenje	Stanje prekidača	Bezbednost [%]			Uticaj na okolinu [%]		
		c1	c2	c3	c1	c2	c3
Malo	OK	90	10	0	80	10	10
Malo	FC	80	10	10	80	10	10
Malo	FO	70	20	10	70	20	10
Srednje	OK	80	10	10	80	10	10
Srednje	FC	70	20	10	50	30	20
Srednje	FO	60	30	10	60	30	10
Visoko	OK	70	20	10	70	20	10
Visoko	FC	60	20	20	60	30	10
Visoko	FO	50	30	20	50	30	20

2.2. Proračun sa “crisp” vrednostima verovatnoća

Mišljenje eksperata o stanju prekidača dobijeno je iz mernih podataka za 42 elektrane 35/10 kV i 427 prekidača, montiranih na 10kV i 35kV fidere. Merenje statičkog otpora kontakta predstavljeno padom napona na kontaktima je prikupljeno u poslednjih 10 godina, pri čemu je pad napona meren svake dve godine. Ostali podaci o prekidačima koji se prikupljaju su: nivo napona, tip fidera, godina proizvodnje, broj isključenja kvara, broj isključenja struje kratkog spoja, broj kupaca i godišnja potrošnja

Ocena mogućeg rizika, u zavisnosti od nivoa bezbednosti i uticaja na životnu okolinu dati su u tabeli 6. Usvojeni princip je “manje je više”, odnosno manja ocena znači manji rizik.

U tabeli 6 prikazane su i izračunate vrednosti verovatnoće pojave svakog događaja i konačnih vrednosti realizacija različitih vrednosti rizika. Proračun je rađen na osnovu jednačina Bajesovih mreža.

Tabela 6. Moguće vrednosti rizika

bezbednost	Verovatnoća	Uticaj	Verovatnoća	Rizik
c1	[0.752]	c1	[0.722]	1
c1	[0.752]	c2	[0.169]	2
c1	[0.752]	c3	[0.109]	3
c2	[0.157]	c1	[0.722]	4
c2	[0.157]	c2	[0.169]	7
c2	[0.157]	c3	[0.109]	6
c3	[0.090]	c1	[0.722]	5
c3	[0.090]	c2	[0.169]	8
c3	[0.090]	c3	[0.109]	10

Na osnovu tabele 6, konačna odluka koju treba doneti za primer data je proračunom vrednosti rizika pomoću izraza:

$$R_i = f(C(\pi_i), P(\pi_i))$$

Rangiranje je prikazano je u tabeli 7. Kao što se može videti iz tabele, za precizne vrednosti varijabli prikazanih na slici „Veliki remont“ je uzet kao konačnu strategiju zbog najniže ocene rizika.

Tabela 7. Rangiranje odluka na osnovu preciznih vrednosti verovatnoća

Odluka	Rizik	Rang
Mali remont	2.35	2
Veliki remont	2.26	1
Bez akcije	2.44	3

3. PRORAČUN SA INTERVALNIM VEROVATNOĆAMA

Na osnovu ovih podataka, stručnjaci su dodelili intervalne verovatnoće prvo od 5% širine, zatim 6%, i dalje do 10%. Takođe, vrednosti za čvorove kao što su vremenski uslovi, stanje mreže, opterećenje, bezbednost i okolina stručnjaci dodeljuju na osnovu prikupljenih i dostupnih podataka. Važno je napomenuti da se stručnjacima ne daju unapred definisane vrednosti centra intervala ni za jedan čvor, već daju svoje procene vrednosti intervala isključivo na osnovu dostupnih podataka i svoje stručnosti. Što se tiče rizika, korišćeno je pravilo 1 – najmanji rizik, 10 – najveći rizik.

U tabeli 8, prikazane su dobijene intervalne verovatnoće sa različitim širinama opsega mogućih verovatnoća.

Tabela 8. Konačne vrednosti rizika za različite vrednosti širina intervala verovatnoća

	Širina intervala verovatnoće					
	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Odluka	Rizik					
Mali remont	[1.94 3.00]	[1.99 3.25]	[1.89 3.40]	[1.84 3.49]	[1.87 3.77]	[2.03 4.11]
Veliki remont	[1.85 2.98]	[1.91 3.25]	[1.82 3.41]	[1.76 3.49]	[1.85 3.83]	[1.93 4.17]
Bez akcije	[2.05 3.03]	[2.05 3.27]	[2.04 3.43]	[1.93 3.50]	[1.99 3.77]	[2.15 4.19]

Na osnovu vrednosti intervala prikazanih u tabeli 14, lako je zaključiti da je najbolji izbor za posmatrani sistem „Veliko održavanje” jer je prioritet rizika najveći i dobija se za ovu odluku za svaku prikazanu širinu intervala (osim za širinu intervala od 9% gde je drugi po prioritetu). Imajući ovo u vidu, kao i rezultat dobijen za jasne vrednosti, može se videti koliko je bolje rešenje model odlučivanja primenjen u ovom radu. Naime, za razliku od oštih vrednosti, koje je veoma teško odrediti u uslovima neizvesnosti, omogućavanje stručnjacima da procene stanje sistema u širokom rasponu vrednosti značajno olakšava pravilno donošenje odluka. Pokazalo se da dozvoljavanje stručnjacima da koriste intervalne vrednosti umesto oštih vrednosti, što je veoma teško u uslovima neizvesnosti, može značajno uticati na konačnu odluku.

Tabela 9 Rangiranje odluka prema intervalnim verovatnoćama

Odluka	5%	Rang	6%	Rang	7%	Rang
Mali remont	[1.94 3.00]	2	[1.99 3.25]	2	[1.89 3.40]	2
Veliki remont	[1.85 2.98]	1	[1.91 3.25]	1	[1.82 3.41]	1
Bez akcije	[2.05 3.03]	3	[2.05 3.27]	3	[2.04 3.43]	3
Odluka	8%	Rang	9%	Rang	10%	Rang
Mali remont	[1.84 3.49]	2	[2.03 3.48]	1	[2.12 3.79]	2
Veliki remont	[1.76 3.49]	1	[2.00 3.61]	2	[2.03 3.82]	1
Bez akcije	[1.93 3.50]	3	[2.21 3.50]	3	[2.21 3.86]	3

4. ZAKLJUČAK

Predviđanje rizika korišćenjem ID sa intervalnim verovatnoćama je veoma popularna metodologija za određivanje uzročno-posledičnih veza događaja u uslovima neizvesnosti. Znanje i iskustvo stručnjaka je jedna od glavnih karika u formiranju ID modela i utvrđivanju stanja razmatranih elemenata za povećanje pouzdanosti elektroenergetskih sistema. Da bi se povećala tačnost procene stanja razmatranih elemenata, u ovom slučaju prekidača, u ovom radu se predlaže da se stručnjacima omogući korišćenje intervalnih verovatnoća umesto oštih verovatnoća. Izvršena je analiza koja pokazuje kako širina intervala utiče na konačnu odluku, te je shodno tome stručnjacima dozvoljeno da svoje procene zasnivaju na intervalnim verovatnoćama.

Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je predloženi model predviđanja rizika korišćenjem ID-ova sa intervalnim verovatnoćama odlično rešenje za odlučivanje koje radnje treba preduzeti da bi se povećala pouzdanost prekidača. Predloženi model određivanja rizika korišćenjem intervalnih verovatnoća umnogome olakšava rad stručnjaka, i daje vrlo realnu sliku radnji koje treba preduzeti. Za razliku od oštih vrednosti, koje je veoma teško odrediti u uslovima neizvesnosti, omogućavanje stručnjacima da procene stanje sistema u širokom opsegu vrednosti značajno olakšava pravilno donošenje odluka.

Metodologiju treba testirati na modelima visoke dimenzije sa velikim brojem čvorova i to će biti fokus našeg budućeg istraživanja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je objavljen uz podršku Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Matematičkom inštitutu Srpske akademije nauka i umetnosti.

LITERATURA

- [1] Peng, C.; Lei, S.; Hou, Y.; Wu, F. Uncertainty management in power system operation. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, **2015**, 1(1), pp. 28-35.
- [2] Vachtsevanos, G. J.; Vachtsevanos, G. J. *Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems* (Vol. 456). Wiley: Hoboken, 2006.
- [3] Daigle, M. J.; Goebel, K. Model-based prognostics with concurrent damage progression processes. *IEEE Transactions on Systems, man, and cybernetics: systems*, **2012**, 43(3), pp. 535-546.
- [4] Jelena D Velimirovic, Aleksandar Janjic Risk Assessment of Circuit Breakers Using Influence Diagrams with Interval Probabilities, *Symmetry*, Vol. 13, Issue 5, 2015
- [5] Howard, R. A. Influence Diagrams, The principles and Applications of Decision Analysis, Vol. II, RA Howard and JE Matheson. Strategic Decisions Group, Menlo Park, California, USA, **1984**.
- [6] Shachter, R. D.; Peot, M. A. Decision making using probabilistic inference methods. In *Uncertainty in Artificial Intelligence*, Morgan Kaufmann, **1992**.
- [7] Kjaerulff, U. B.; Madsen, A. L. Bayesian networks and influence diagrams. Springer Science+ Business Media, 2008

