

FMECA ANALIZA U ELEKTRODISTRIBUTIVNIM PREDUZEĆIMA

A. Janjić, Telvent DMS, Srbija
A. Anđelković, PD Jugoistok, ED Leskovac, Srbija
V, Milenković, Radius SEE, Srbija

UVOD

Održavanje predstavlja skup radnji koje imaju za cilj da produže životni vek opreme, odnosno da produže vreme do prvog kvara nekog elementa, čija bi opravka iziskivala velike troškove. Suviše slabo i retko održavanje može da izazove veliki broj kvarova i prekida napajanja. Suviše često sprovedeno, međutim, održavanje može da bude preskupo. U elektrodistributivnim preduzećima Elektroprivrede Srbije, održavanje se sprovodi kao kombinacija preventivnog održavanja u fiksnim intervalima (godišnje se propisuje broj elemenata koji treba zameniti u distributivnoj mreži) i korektivnog održavanja. Ovakav pristup, pri kome se ne uvažava različiti značaj i uticaj pojedinačnih mreža i njenih elemenata, dovodi do neopravdano velikih troškova i ne omogućuje optimalni raspored sredstava za održavanje. Jedan od najpotpunijih pristupa održavanju, koji pravi balans između troškova održavanja i troškova koji proističu iz prekida u napajanju, je *Održavanje usmereno ka pouzdanosti* ili RCM (Reliability Centered Maintenance), dok je sastavni deo ovog pristupa i tzv. FMECA (Failure mode, effect and criticality analysis) - analiza, odnosno analiza vidova i efekata kvarova i analiza kritičnosti. FMECA je metodologija za identifikovanje i analizu:

- svih mogućih vidova kvarova različitih delova sistema
- efekata koji ovi kvarovi mogu da imaju na sistem
- načina da se kvarovi izbegnu ili smanji njihov uticaj na sistem

FMECA je sastavljen od dva posebne vrste analize: FMEA – analize vidova i efekata kvarova i analize kritičnosti (CA). FMEA analizira različite vidove kvarova i njihove efekte na sistem, dok CA klasifikuje ili prioritizuje njihov nivo značaja, bazirajući se na intenzitetu otkaza i ozbiljnosti posledica kvara. FMECA je originalno razvijena od strane američke vojske još četrdesetih godina prošlog veka, a zatim prihvaćen i od NASA, da bi se poboljšala i verifikovala pouzdanost opreme za svemirski program. Razvijen kao standard, ustanovio je zahteve i procedure za izvođenje ove analize, procenom i dokumentovanjem, potencijalne uticaje svakog funkcionalnog kvara ili kvara opreme na uspeh same misije, ličnu bezbednost i bezbednost sistema i njegove performanse .

U ovom radu, prikazana je opravdanost primene FMECA analize u planiranju održavanja distributivnih mreža. Analiza je ilustrovana na primeru građevinskog dela montažno betonske transformatorske stanice.

OPIS METODOLOGIJE

Analiza vidova, efekata i kritičnosti kvarova je celovita analiza kvarova koja se odvija u više koraka. Algoritam vršenja analize prikazan je na slici 1. Prvih šest tačaka predstavlja FMEA analizu, dok se analiza kritičnosti vrši procenom rizika i određivanjem prioriteta korektivnih akcija. U prva tri koraka, definiše se sistem koji se analizira, definišu granice sistema i odlučuje se koji vid analize će se izvršiti (funkcionalni ili komponenti), i određuju se hijerarhijski nivoi sistema. Ovaj nivo analize podrazumeva usvajanje opštih pravila koja se tiču primenjene metodologije, načina skupljanja podataka, postavljaju se operativni i uslovi okoline u kojima sistem radi. Vršiti se konstruisanje funkcionalnih blok dijagrama sistema, kao i dijagrama za analizu pouzdanosti. Blok dijagrami treba da omoguće praćenje efekata kvara kroz sve hijerarhijske nivoje sistema.



Slika 1. Algoritam FMECA analize

U tabeli 1 prikazan je kratak opis FMECA analize. Svaki potencijalni kvar je rangiran po ozbiljnosti posledica kvara, tako da korektivne akcije mogu da se preduzmu u cilju eliminisanja ili kontrole nad rizikom. Stavke sa visokim rizikom su one čiji kvar može da ugrozi misiju ili osoblje [1-4].

Tabela 1. Opis FMECA analize

FAZA	PITANJE	IZLAZ
Identifikacija	Šta može poći loše?	Opis kvara Uzrok- vid kvara – efekti
Analiza	Koliko je kvar verovatan? Kakve su posledice?	Intenziteti otkaza Kvantifikacija rizika
Akcija	Šta treba uraditi? Kako eliminisati uzroke? Kako smanjiti težinu posledica?	Promena projekta Promena učestanosti postojećih aktivnosti na održavanju Uvođenje novih tehnika dijagnostike Radna uputstva

Pre nego što se počne sa analizom, potrebno je formirati tabelu, koja sadrži bitne informacije o sistemu. Ne postoji jedinstveni oblik tabele, već se ona prilagođava zahtevima korisnika, radi uklapanja u postojeći sistem. U tabelu se upisuju uzroci i vidovi kvara. Uzrok kvara je fizički ili hemijski proces koji dovodi do kvara komponente. Za svaki vid kvara moguće je postojanje više uzroka. Svi mogući uzroci, uključujući i ljudske treba da budu izlistani. Vrlo je važno, pri analizi uzroka, da se ne pretera u nivoima uzroka kvara, već da se analiza zaustavi na nivou na kome preventivna akcija može da ima efekta.

Nakon što su prepoznati svi vidovi kvara i njihov efekat na sistem, potrebno je pristupiti rangiranju efekata na sistem za svaki vid kvara pojedinačno. Svaki vid kvara se procenjuje na osnovu najtežih mogućih posledica po sistem.

U ovoj fazi, vrši se i analiza različitih načina detekcije kvara. Oni mogu da obuhvataju dijagnostičke testove, različite alarme, indikacije i dr. Neki kvarovi mogu da budu „sakriveni“, drugi evidentni. Nereagovanje relejne zaštite je primer skrivenog kvara. Broj koji označava mogućnost da planirani testovi i inspekcije otklone kvar ili detektuje kvar na vreme, obeležava se sa (D). Pridruženi broj predstavlja meru rizika da kvar ne bude detektovan na vreme.

Nakon određivanja stepena detekcije, određuju se i intenziteti otkaza za svaki vid kvara pojedinačno. U nedostatku tačnijih podataka, ovi intenziteti (O) mogu da se iskažu u širim kategorijama, npr,

1. Vrlo neverovatan događaj - Jednom u 1000 godina ili ređe, 2. Malo verovatan -Jednom u 100 godina itd.

Sledeći korak u okviru ove faze analize kvara je i određivanje težine kvara. Ona predstavlja najgoru posledicu koju pojedinačni vid kvara može da izazove u sistemu. Nakon definisanja kvarova, u tabelu se upisuju aktivnosti koje se sprovode da bi se kvar koji se desio otklonio i povratila funkcija sistema. Nakon što je izvršena analiza vidova i efekata kvarova (FMEA), stvoreni su osnovi za analizu kritičnosti, koja se vrši kvantitativno, na osnovu broja prioriteta rizika (RPN) [1-3]. Ovaj broj se koristi radi rangiranja i identifikovanja rizika i predstavlja sredstvo za određivanje prioriteta komponenata na kojima pre svega treba izvršiti određene korektivne akcije u cilju smanjivanja rizika. Naravno, ukoliko je težina posledica vrlo velika, i pogotovu se odnosi na aspekte zdravlja, bezbednosti i uticaja na okolinu, nezavisno od ovog rangiranja treba izvršiti određene akcije.

Broj prioriteta rizika izračunava se kao proizvod Težine posledice (S), Verovatnoće dešavanja kvara (O) i mogućnosti detekcije (D)

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

Kada se izračunaju ovi brojevi, lako je odrediti područja koja zahtevaju najveći interes. Element sa najvećim RPN ima najveći prioritet u sprovođenju korektivnih akcija.

U narednom odeljku, prikazana je FMECA analiza na primeru montažno betonske transformatorske stanice.

Za ilustrativni primer analize razmatraće se određivanje optimalnog održavanja tipske montažno betonske transformatorske stanice 10/0,4 kV. Analiza se vrši prema algoritmu prikazanom na slici 1.

Definisanje nivoa i polaznih pretpostavki

TS 10/0, 4 kV biće razmatrana kao jedan sistem sastavljen od 3 podsistema:

- Podsystem 1: građevinski deo
- Podsystem 2: energetski transformator
- Podsystem 3: elektromontažna oprema

Budući da je cilj analize određivanje optimalnih aktivnosti na održavanju postojećih stanica, usvaja se komponentni pristup. Opis komponenti dat je u sledećoj tabeli:

Tabela 2. Komponente sistema

Komponente podistema 1:	Komponente podistema 2:	Komponente podistema 3:
<ul style="list-style-type: none">- spoljašnji i unutrašnji zidovi, pod- krov, oluk, slivnici- vrata- otvori za ventilaciju- kablovski kanali- pristupni put	<ul style="list-style-type: none">- kotao i radiator- slavine i zaptivna mesta- izolatori sa zaštitnim iskrištima- konzervator- priključci- Buholc relej	<ul style="list-style-type: none">-Prekidači:<ul style="list-style-type: none">- komore- izolatori- kontakti- pogonski mehanizam- konstrukcija-Rastavljači i sklopke:<ul style="list-style-type: none">- mehanička konstrukcija- mehanizam za uključenje i isključenje- kontakti i priključci- izolatori- komora za gašenje luka-Sabirnice, izolatori, odvodnici<ul style="list-style-type: none">- Sabirnice- izolatori- spojna i priključna mesta- telo odvodnika- noseća konstrukcija- spojevi odvodnika- konstrukcija osigurača- spojevi- Razvod niskog napona i uzemljivač<ul style="list-style-type: none">- sabirnice i izolatori- osigurači- pomoćni releji- merni transformatori i instrumenti- zemljovod

Cilj analize je određivanje optimalnog održavanja tipske stanice, radi optimizacije troškova i optimalnog organizovanja službi održavanja. Zbog toga će se koristiti tipski podaci o prekidima za konkretan tip stanice. Analiza može da se vrši i za jednu određenu stanicu, pri čemu se koriste podaci samo za konkretni objekat.

Popunjavanje FMECA tabele

Popunjena FMECA tabela za građevinski deo TS data je u sledećoj tabeli.

Tabela 3. FMECA tabela

Opis jedinice			Opis kvara				Efekat kvara	O	S	RPN
	Element	Funkcija	Funkcionalni kvar	Vid kvara	Uzrok	D				
1	Spoljašnji i unutrašnji zidovi, pod	Zaštita opreme od atmosferskih uticaja i ulaska ljudi i životinja	Nema zaštite od ulaska i atmosferskih uticaja	Urušavnje zida	Udar vozila, Sleganje zemljišta	2	Ulazak ljudi i životinja, oštećenje opreme, prekid napajanja (10 kV izvoda, traforeona), popravka 2-3 dana, troškovi sanacije 10000 Eur,	2	7	28
2	Krov, oluk, slivnici	Zaštita opreme od kiše i snega	Nema zaštite od vode	Pukotina na krovu	Atmosferski uticaji, propadanje izolacije usled protoka vremena	5	Kratki spoj, požar, totalna šteta, potrošači bez napajanja, troškovi sanacije 20000 Eur,	6	8	240
3	Vrata	Sprečavanje ulaska neovlašćenim licima i životinjama, unos opreme, ulazak ovlašćenih lica	Onemogućen ulazak ovlašćenim licima i unos opreme, nema zaštite od ulaska neovlašćenih lica i životinja	Ključ ne otključava ili ne zaključava cilindar brave	reklamni plakati, namerno oštećenje brave, obijanje vrata	3	Duže vreme otklanjanje kvara usled nemogućnosti pravovremenog ulaska u stanicu.	7	5	105
3 · 1				Nenaleganje vrata	namerno oštećenje, naleganje tla	3	duže vreme otklanjanje kvara usled nemogućnosti pravovremenog ulaska u stanicu Kvar može da ima i smrtno posledice u slučaju ulaska neovlašćenih lica kroz otvorena vrata.	8	5	120
4	Otvori za ventilaciju	Hlađenje transformatora na siguran način	Otežano hlađenje	Zatvoren otvor za ventilaciju	Plakati, rastinje, namerno oštećenje	3	Pregrevanje i ispad ET usled prekostrujne zaštite reagovanjem kontaktnog termometra. Trajanje ispada je reda nekoliko sati, pri čemu bez napajanja ostaju potrošači u jednom trafo reonu.	8	3	72
4 · 1 ·			Smanjena bezbednost stanice	Skinute žaluzine	Vandalizam	3	Hlađenje nije otežano, ali je narušena bezdnost stanice. U slučaju ulaska neovlašćenih lica, moguć je i smrtni slučaj.	4	1 0	120
5	Kablovski kanali	Smeštanje i pristup kablovima	Otežan pristup i ugroženost kablova	Prisustvo vode, rastinja i životinja	Prirodni uticaji	5	Kratki spoj i ispad TS. Kvar može da dovede do prekida u napajanju potrošača u ovom trafo reonu.	3	5	75

Na osnovu izvršene FMECA analize, moguće je rangirati komponente prema kritičnosti, a onda za svaku od njih pojedinačno izvršiti izbor aktivnosti na održavanju. Kao najkritičnije, razmatraćemo komponentu 2 (krov), sa brojem prioriteta rizika 240 i komponentu 3 (vrata) sa brojem prioriteta rizika 120.

Optimalno vreme planskog održavanja

Nakon određivanja kritičnih komponenti, potrebno je pristupiti određivanju optimalnih akcija na smanjenju identifikovanih rizika.

Optimalno vreme planskog održavanja moguće je odrediti putem minimizacije srednjih jediničnih troškova u jednom ciklusu rada sistema od remonta do remonta. Prosečni troškovi jednaki su odnosu srednjih troškova u ciklusu T i očekivanog trajanja perioda.

Prosečni troškovi u jednom ciklusu jednaki su [5,6];

$$M[C] = C_f \int_0^T f(t)dt + C_p \int_T^{\infty} f(t)dt = C_f F(T) + C_p R(T) \quad 2)$$

R(T) je verovatnoća da element neće otkazati do trenutka preventivne zamene (remonta)
 $F(T) = 1 - R(T)$, verovatnoća da će element biti zamenjen posle kvara

Očekivano vreme ciklusa je onda:

$$M[T] = \int_0^T t f(t)dt + T \int_T^{\infty} f(t)dt = R(T)dt \quad 3)$$

$$\min : C(T) = \frac{M[C]}{M[T]} = \frac{C_f F(T) + C_p R(T)}{\int_0^T R(t)dt} \quad 4)$$

Optimalno vreme planskog održavanja može se odrediti i kao vreme pri kome se imaju minimalni očekivani troškovi s obzirom na mogući nastanak kvara i verovatnoću blagovremenog otkrivanja i otklanjanja uzroka. Ovo vreme se može odrediti iz izraza [5]:

$$[1 - R(T)]C_f = C_m \quad 5)$$

sa R(T) je označena verovatnoća da se element neće pokvariti do trenutka T. C_f i C_m su troškovi kod nastanka kvara i troškovi preventivnog remonta, respektivno. Vreme T je optimalno vreme remonta pošto su troškovi kvara i remonta pri ovom vremenu izjednačeni.. Izraz na levoj strani izraza 3) predstavlja očekivane troškove usled kvarova u toku perioda T. Ako bi vreme remonta bilo kraće od T, troškovi remonta bi bili veći nego što bi bili očekivani troškovi usled kvarova.

Na osnovu svih opisanih ulaznih parametara, moguće je formirati FMECA tabelu. U sledećem odeljku prikazana je popunjena tabela za građevinski deo transformatorske stanice 10/0,4 kV.

Na osnovu primene izraza 3-5) dobijaju se optimalna vremena od 4 godine za popravku izolacije krova i vreme od 1,5 meseci za obilazak stanice.

ZAKLJUČAK

Tradicionalni pristup održavanja distributivnih objekata koji predstavlja kombinaciju korektivnog održavanja i održavanja u fiksnim vremenskim intervalima ne omogućuje optimalnu raspodelu ljudskih i materijalnih sredstava za održavanje. Primena FMECA analize uvažava različiti značaj i stanje distributivnih objekata, te na osnovu prihvaćenog nivoa rizika omogućava određivanje najkritičnijih komponenti. Određivanje prioriteta za investiranje određuje se na osnovu broja prioriteta rizika (RPN broj). Pogodnim matematičkim

tehnikama moguće je za ove komponente odrediti i optimalni nivo održavanja. Metoda je jednostavna za primenu i u nedostatku kvantitativnih podataka, desetostepene skale za ocenu verovatnoće, detekcije i težine kvara omogućavaju realno rangiranje komponenti.

LITERATURA

1. "Failure modes, effects and criticality analysis for command, control, communications, computer, intelligence, surveillance and reconnaissance facilities", Department of the Army, TM 5-698-4), 2006.
2. M. Rausand, "System reliability theory", Wiley, 2004.
3. John Moubray, "Reliability Centered Maintenance", second edition, Industrial Press, 1997.
4. Neil Bloom, "Reliability Centered Maintenance", Mc Graw Hill, 2006.
5. A. Janjić, "Strategija za održavanje distributivnih mreža korišćenjem dekomponovanih faktora rizika", doktorski rad, Univerzitet u Novom Sadu, 2007.
6. C. T. Lam, R. H. Yeh, "Optimal Maintenance Policies For Deteriorating Systems Under Various Maintenance Strategies", IEEE Transactions on Reliability, Vol. 43, No. 3, September 1994.
7. J. Nahman, V. Mijailović, "Izabrana poglavlja iz visokonaponskih postrojenja", Akademska misao, Beograd, 2002.
8. H. L. Willis, "Aging Power Delivery Infrastructures", Marcel Dekker, 2001.