Broj rada: R3-17
DOI:10.46793/CIRED2026.R3-17_178

NADZOR I ESTIMACIJA STANJA PREKIDAČA

MONITORING AND ESTIMATION OF CIRCUIT BREAKER STATE

Aleksandar MARJANOVIĆ*, Siemens doo Beograd, Elektrotehnički fakultet; Univerzitet u Beogradu, Srbija,
Uroš NJEGOVAN, Siemens Energy doo Beograd, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Srbija,
Prof. dr Zoran STOJANOVIĆ, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu,
Mr Dušan VUKOTIĆ, Elektrodistribucija Srbije, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Investicije u rekonstrukciju i održavanje primarne i sekundarne opreme elektroenergetskih postrojenja rezultuju značajnim poboljšanjem operativnih performansi uz dodatno povećanje pouzadnosti rada ali i fleksibilnosti sa aspekta daljeg proširenja sistema. Elektroenergetska postrojenja sa integrisanim sistemom zaštite i upravljanja koji se baziraju na standardu IEC 61850 predstavljaju jedinstvenu komunikacionu platformu za sakupljanje informacija i radnih parametara iz samog procesa, stvarajući okruženje za korisnike da kreiraju analitičke metode sa ciljem dugoročnog praćenja radnih parametara. kao i estimacije stanja primarne opreme u cilju efikasnijeg planiranja, održavanja i sprečavanja eventualnih kvarova. Kao jedan od ključnih ali i najkritičnijih elemenata u postrojenju za dugoročno praćenje stanja i održavanje predstavlja prekidač. Nadzor radnih parametara prekidača u osnovi predstavlja kontinualno praćenje i sakupljanje relevatnih informacija iz procesa sa ciljem estimacije fizičkog stanja prekidača – istrošenosti njegovih kontakata, izolacionog medijuma kao i pogonskog mehanizma. Poznavanjem navedenih parametara može se sprečiti eventualni otkaz samog prekidača blagovremenom reakcijom, ali se ujedno otvara mogućnost planskog održavanja prekidačkih elemenata u mreži. U radu je dat pregled i testiranje algoritama koji, implementirani u uređajima relejne zaštite i upravljanja, omogućavaju krajnjem korisniku da evaluira stanje prekidača na osnovu izvedenih informacija.

Ključne reči: Nadzor stanja prekidača, IEC 61850, SCADA

ABSTRACT

Investments in the reconstruction and maintenance of primary and secondary equipment of electrical power facilities result in significant improvement of operational performance, along with increased reliability of operation and greater flexibility for future system expansions. Facilities that have implemented the IEC 61850 standard represent a unified communication platform for collecting information and operational parameters directly from the process, creating an environment that enables users to develop analytical methods for long term monitoring of operating parameters as well as assessing the condition of primary equipment in order to plan maintenance more efficiently and prevent potential failures. One of the key—and also most critical—elements in a substation for condition monitoring and maintenance is the circuit breaker. Monitoring the operating parameters of a circuit breaker essentially

* Aleksandar Marjanovic, aleksandar.marjanovic@siemens.com

represents continuous tracking and collection of relevant process information for the purpose of estimating the physical condition of the breaker—wear of its contacts, the state of the insulation medium, and the operating mechanism. By knowing these parameters, it is possible to prevent a potential circuit breaker failure through timely intervention, while also enabling planned maintenance of switching elements in the network. This paper provides an overview and testing of algorithms that, when implemented in protection and control devices, enable the end user to evaluate the condition of the circuit breaker based on readymade information.

Keywords: Circuit Breaker Monitoring, SCADA, IEC 61850

UVOD

Monitoring parametara rada prekidača u osnovi predstavlja praćenje i sakupljanje određenih informacija iz procesa sa ciljem estimacije celokupnog stanja prekidača jer se na taj način može sprečiti eventualni otkaz i otvara se mogućnost planskog održavanja prekidačkih elemenata u mreži. Kako je prekidač rasklopni element koji u elektroenergetskom sistemu jedini prekida struje kvarova, njegova raspoloživost i ispravan rad direktno utiču na operativne parametre mreže. Naime, prekidački elementi kod kojih se beleži povećani broj odrada, kao i više vrednosti prekinutih struja, imaće prioritet prilikom godišnjeg održavanja u odnosu na elemente koji nisu prekomerno korišćeni. Navedeni pristup rezultuje značajnim uštedama u odnosu na koncept preventivnog održavanja, ne samo sa aspekta optimalnijeg angažovanja timova za održavanje, već i sa aspekta trajanja prekida u mreži i neisporučenoj električnoj energiji. Cilj rada je da se evaluiraju funkcije praćenja rada prekidača dostupne u savremenim uređajima relejne zaštite i upravljanja bez ugradnje specijalnih senzora i zasebnih uređaja. U prvom delu rada je dat opis funkcionalnosti različitih algoritama dostupnih u mikroprocesorskim zaštitnim i upravljačkim uređajima. Autori su deo tima koji je imao priliku da analizira procesne arhive transformatorske stanice TS 110/10 kV „Beograd 41-Blok 32“ u kojima su sadržane vrednosti akumulirane u jednoj od opisanih funkcija, te je u drugom delu rada data analiza datih vrednosti.

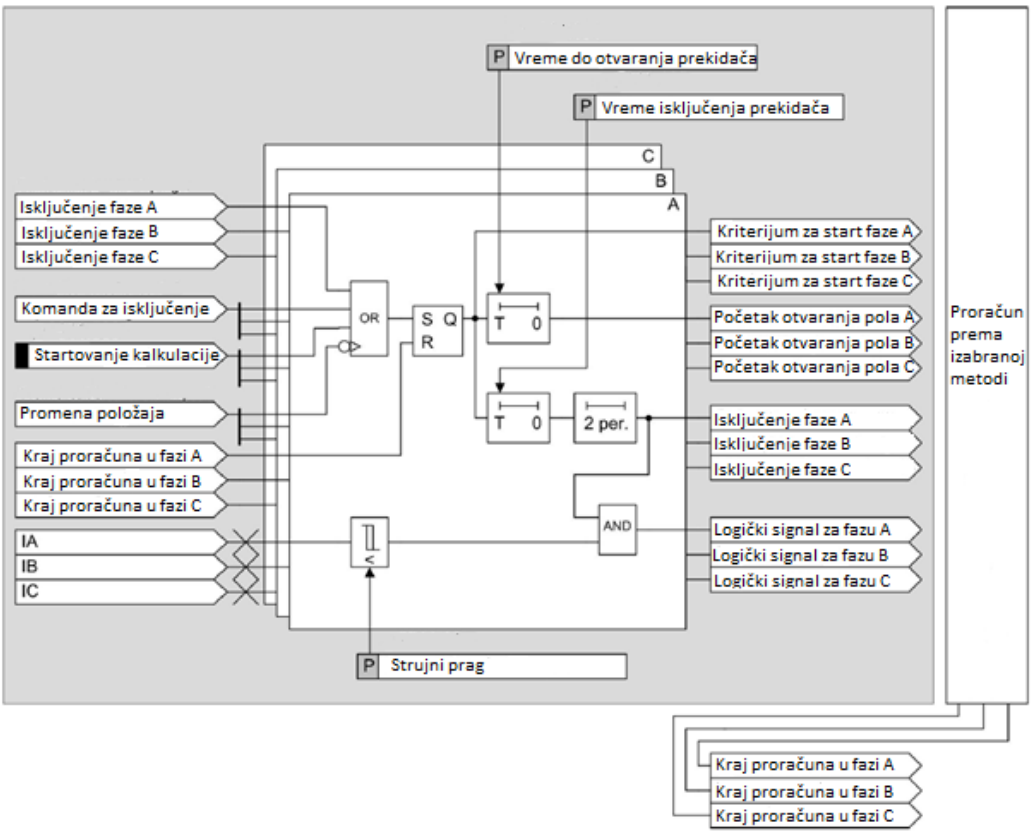
1 ALGORITMI ZA MONITORING I ESTIMACIJU STANJA PREKIDAČA

Funkcije monitoringa prekidača implementirane u savremenim mikroprocesorskim uređajima za zaštitu i upravljanje bazirane su na estimiranji stanja prekidača na osnovu standardnih procesnih vrednosti koje su dostupne u njima i upravo zbog toga predstavljaju veliki potencijal. Postoji više operativnih metoda estimacije i funkcija monitoringa koje se često nadograđuju i dalje razvijaju od strane proizvođača. U ovom radu analizirane su funkcije dostupne u uređajima relejne zaštite i upravljanja jednog od zastupljenijih proizvođača:

1. ∑Ix metod – sumiranje snage struja prekidanja;
2. 2P metod – preračunavanje preostalog broja ciklusa;
3. Supervizija vremena uključenja prekidača;
4. Brojač mehaničkih operacija prekidača;
5. Vreme rasipanja – nesklada polova;
6. Monitoring pogonskog mehanizma prekidača.

7. I2t metod – sumiranje ukupnog toplotnog impulsa kroz prekidač;

Naprezanje odnosno „trošenje“ prekidača uzrokovano je pre svega pojavom električnog luka koji se javlja između prekidačkih kontakata i srazmerno je amplitudi struje kao i dužini trajanja manipulacije. Stoga je određivanje početnih i krajnih vremenskih kriterijuma veoma bitno u svakoj od analiziranih metoda i njima prethodi generalni funkcionalni blok praćenja rada prekidača koji kao jedan od rezultata daje logičke pobudne signale, kao što je prikazano na slici1.



Slika 1 – Funkcionalni blok praćenja rada prekidača [1]

Funkcija za startovanje algoritma estimacije stanja prekidaca se vrši nezavisno po svakoj fazi i startuje kada je ispunjen bilo koji od sledećih kriterijuma:

1. Izdavanje naloga za isključenje od zaštitnih funkcija – Isključenje faze A,B,C;
2. Izdavanje komande za isključenje;
3. Spoljašnjom pobudom funkcije preko binarnog ulaza - Startovanje proračuna;
4. Detekcijom promene položaja prekidača na osnovu signalnih kontakata u slučaju ručnh manipulacija.

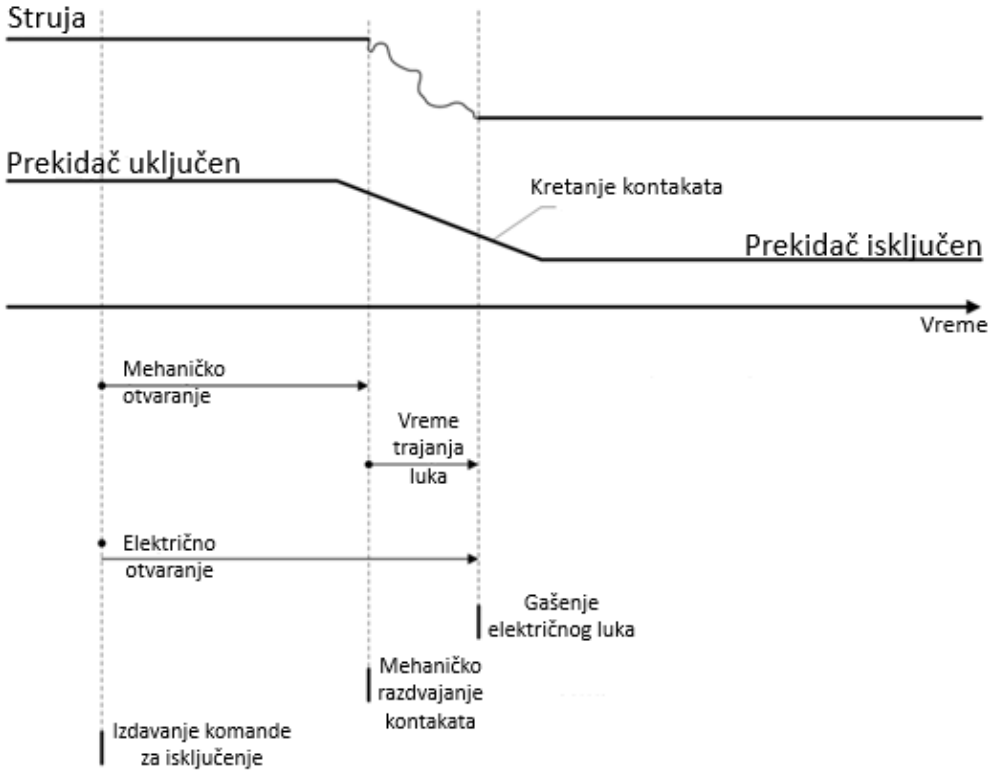
Dodatni parametri koje je potrebno podesiti u okviru funkcije monitoringa prekidača su:

- Vreme mehaničkog otvaranja prekidača– vreme potrebno da polovi prekidača počnu da se kreću od trenutka aktivacije kalema za isključenje;

- Vreme isključenja prekidača– vreme potrebno da se polovi rastave podrazumevajući i gašenje električnog luka;

- Strujni pragdetekcije proticanja struje kroz svaki od polova prekidača.

Isključenje prekidača sa svim ključnim vremenskim trenucima od interesa prikazano je na slici 2. Može se uočiti da, neposredno nakon mehaničkog odvajanja kontakta polova prekidača dolazi do pojave luka koji opstaje određeno vreme (Vreme trajanja luka). Nakon što kontakti nastave da se udaljavaju praćeni porastom dielektrične čvrstoće izolacionog medijuma, luk se razvlači, hladi i gasi prilikom narednog prolaska struje kroz nulu. To predstavljavlja električno otvaranje prekidača, odnosno momenat kada su kontakti prekidača potpuno mehanički odvojeni i luk je ugašen. Na slici 2 mogu se uočiti razlike između dva ključna trenutka u procesu isključenja prekidača.



Slika 2 – Ključni vremenski trenutci prilikom isključenja prekidača

1.1 ∑Ix metod estimacije

Simbol ∑Ix označava sumu struja (I) tokom vremenskom intervala (X) - u suštini, ova metoda prati ukupnu količinu struje u svakoj fazi koja je protekla kroz prekidač tokom svake od njegovih operacija. Ova metoda se koristi za procenu električnog stresa kojem su izloženi kontakti, što doprinosi njihovom starenju i eventualnoj potrebi za održavanjem ili zamenom. Metoda koristi efektivnu vrednost (RMS) osnovnog harmonika signala izmerene struje, čije se vrednosti odbiraka čuvaju u registru za svaku od faza pojedinačno. Vredosti struje beleže se za vremenski interval od startovanja funkcije monitoringa do trenutka mehaničkog odvajanja kontakata prekidača Ukoliko nijedna od vrednosti amplitude struje iz registra ne prelazi vrednost podešenog praga, takvo isključenje prekidača može se smatrati da ne dovodi do trošenja kontakata prekidača.

Statistički estimirana, fazno zavisna vrednost je dostupna putem komunikacionog protokola i postoji mogućnost resetovanja kao i presetovanja statističke vrednosti. Dodatno, može se definisati i prag akumulirane estimacije te se nakon njegovog prekoračenja generiše signal upozorenja ili alarma za prenos komunikacionim putem ili eventualno za lokalno alarmiranje.

1.2 2P metod

2P metod se zasniva na kataloškim podacima proizvođača prekidača koji ilustruju zavisnost između dozvoljenog broja manipulacija i struja isključenja. U datom primeru, proizvođač garantuje da prekidač može da izvrši 1000 operacija pri struji isključenja od 10 kA. Zavisnost je definisana sa dve tačke i prava koja ih povezuje opisuju funkcionalnu zavisnost između dozvoljenog broja ciklusa i prekinutih struja. Prva tačka P1 je određena brojem dozvoljenih manipulacija pri nazivnoj struji, dok drugu tačku P2 određuje maksimalni broj isključenja pri nazivnoj struji kratkog spoja. Prava koja povezuje tačke P1 i P2 se može predstaviti sledećom funkcijom:

$$n = b * \left(\frac{I_{rated}}{I_{trip}}\right)^{m} \quad (1)$$

Gde su:
I_{trip} - Struja isključenja;
I_{rated} - Nazivna struja;
m – koeficijent krive;
b – Broj manipulacija pri nazivnoj struji I_{rated};
n – broj manipulacija.

1.3 Supervizija vremena uključenja prekidača

Navedeni metod se bazira na izračunavanju vremena uključenja prekidača od trenutka izdavanja naloga za uključenje do momenta kada bilo koja od faznih struja nadmaši podešeni prag detekcije uključenog pola prekidača. Dugoročnim izračunavanjem, arhiviranjem i praćenjem može se napraviti korelacija sa stanjem prekidača. Algoritam je veoma osetljiv na tačnost definisanih vremenskih parametara kao i podešenog strujnog praga, stoga se koriste dodatne provere u slučajevima kada se rezultat markira kao neregularna vrednost. Ukoliko je nakon detekcije uključenja prekidača izračunato vreme uključenja 2,5 puta veće od podešene vrednosti parametra, merenje se poništava, izlazna vrednost promenjive se postavlja na nulu i označava se kao nevažeća. Kako bi se što detaljnije pratio rad prekidača, postoji mogućnost definisanja 2 nezavisna praga za nadzor njegovog vremena električnog uključenja i kada se ti pragovi premaše aktiviraju se odgovarajući alarmi u samom uređaju.

1.4 Brojač mehaničkih operacija prekidača

Funkcija brojača mehaničkih operacija predstavlja jednu od najednostavnijih metoda supervizije prekidača. Ona omogućava praćenje mehaničkog opterećenja prekidača kroz broj izvršenih operacija. Ova funkcija koristi signalne kontakte prekidača kako bi registrovala svaku promenu stanja prekidača (uključenje i isključenje), čime se omogućava precizno brojanje ukupnog broja izvršenih operacija. Algoritam beleži svaku promenu stanja prekidača i inkrementira brojač ciklusa. Na osnovu akumuliranog broja prekidanja, moguće je proceniti stepen mehaničkog habanja prekidača i planirati preventivno održavanje. Brojač se može ručno resetovati ili podesiti njegova početna vrednost prema trenutnom broju operacija prekidača, što omogućava fleksibilnost u radu i održavanju sistema. Funkcija se najčešće integriše u okviru

savremenih mikroprocesorskih uređaja za zaštitu i upravljanje kao dopunska funkcija složenijim algoritmima za monitoring prekidača.

1.5 Vreme rasipanja (nesklada) polova

Vreme rasipanja (nesklada) polova predstavlja vremenski interval između prekidanja struje u različitim fazama prilikom otvaranja prekidača. Ova razlika u vremenu može ukazivati na mehaničku istrošenost ili neusklađenost u radu prekidača. Glavno ograničenje predstavlja činjenica da je limitirana za korišćenje na prekidačima sa nezavisnim pogonskim mehanizmom po fazi, ali je i njena upotreba gotovo obavezna jer veće odstupanje između polova može dovesti do većih tranzijenata pa čak i kvarova. Analogno ovoj fukciji, dodatno postoji i funkcija koja prati nesklad polova prilikom uključenja prekidača.

1.6 Monitoring pogonskog mehanizma prekidača

Monitoring pogonskog mehanizma prekidača zasniva se na merenju vremena rada motora između pražnjenja i ponovnog navijanja opruge prekidača. Svako produženje vremena navijanja opruge iznad deklarisanog može ukazati na određeni mehanički problem. Princip rada funkcije bazira se na korišćenju digitalnog ulaza koji signalizira da je opruga navijena (Operat. mechan. ready). Kada je ovaj ulaz neaktivan, to signalizira da motor radi i da opruga navija. Ukoliko ova informacija nije adekvatno podešena u uređaju, funkcija ne može da radi i izdaje upozorenje i ostaje u stanju pripravnosti (standby warning). Moguće je definisati dve nezavisne granične vrednosti za nadzor izmerenog vremena rada motora. Ukoliko izmereno vreme prekorači podešene vrednosti, generiše se odgovarajući signal upozorenja ili alarma.

Kako bi se pogrešna merenja sprečila, preporuka je u uređaj uvesti i nezavisnu informaciju po položaju prekidača. U suprotnom, pogrešno merenje može nastati ukoliko dođe do gubitka pomoćnog napona. Zbog toga se merenje vrši samo ako se položaj prekidača promeni tokom samog prozora merenja ili ako se promeni iz stanja isključen u međupoložaj najviše 3 sekunde pre merenja.

1.7 I^2t metod

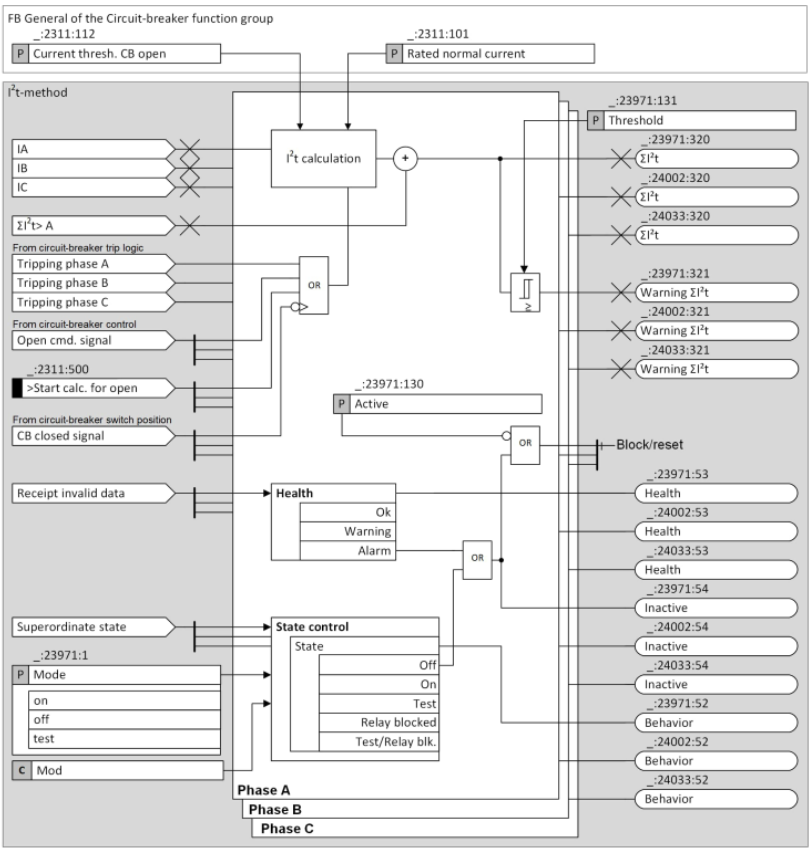
Monitoring prekidača upotrebom I^2t algoritma predstavlja najzastupljeniju metodu nadzora prekidača implementiranu u savremenim mikroprocosorskim uređajima za zaštitu i upravljanje. Omogućava uvid u stepen erozije kontakata kumulativnim računanjem ekvivalentnog toplotnog impulsa kojem su bili izloženi tokom obavljenih isključenja.
I^2t metod vrši evaluaciju stanja prekidača na bazi merenih odbiraka fazne struje tokom pojave i gašenja električnog luka u komori prekidača. Period od početka do gašenja električnog luka određuje se metodom prolaska talasnog oblika struje kroz nulu nakon prijema logičkog pobudnog signala. Nakon toga, kvadrat trenutne vrednosti struje tokom gorenja električnog luka se integrali nezavisno u svakoj fazi.
Integraljenje se vrši po sledećoj formuli za fazu A:

$$I^2t_A = \frac{1}{I_{rated}^2} \int_{Start\ arc\ time}^{End\ arc\ time} i_A^2(t)dt \qquad (2)$$

Gde su:
I_{rated} - nazivna struja prekidača;
$i_A(t)$ – izmerena vrednost struje faze A;

Rezultat proračuna tokom pojave kvara se dodaje na postojeću kumulativnu sumu prethodnih kvarova.

Funkcionalni blok dijagram na slici 3 prikazuje na koji način je implementiran opisani algoritam I^2t metode u zaštitno-upravljačkim uređajima. Prijemom logičkih pobudnih signala od funkcionalnog blok dijagrama praćenja rada prekidača započinje izračunavanje integrala po prikazanoj formuli (2) i to sa prozorom odabiranja vrednosti stuje definisanim trajanjem perioda gorenja električnog luka u komori prekidača. U većini aplikacija, period gorenja luka se sa zadovoljavajućom tačnošću aproksimira razlikom parametara break time i opening time iz funkcionalnog blok dijagrama rada prekidača. Ovi podaci su dostupni u fabričkoj dokumentaciji prekidača, a moguće ih je i potvrditi merenjima na terenu. Takođe, I^2t algoritam dozvoljava resetovanje akumuliranih statističkih vrednosti kao i unošenje parametra koji ima ulogu praga – Threshold. Nakon što akumilarana vrednost I^2t dostigne podešeni prag, moderni uređaji koji obavljaju monitoring prekidača mogu generisati alarm. Signalizacija se obavlja nezavisno u svakoj od faza prekidača sa mogućnošću daljeg komunikacionog prenosa.



Slika 3 – Logički blok dijagram I2t metode [1]

|Postoje i varijacije navedene metode [3] pri kojima se koristi opštija formula I^nt, gde se eksponent n obično kreće između 1,5 i 2,0, zavisno od preporuke proizvođača. Procena preostalog životnog veka može se vršiti poređenjem izračunate vrednosti sa krivom izdržljivosti kontakata (Contact Erosion Curve) koja je u većini slučajeva dostupna.

2 IMPLEMENTACIJA U TS „BEOGRAD 41"

Postrojenje koje je odabrano za aktiviranje funkcionalnosti opisanih u poglavlju 1 je TS 110/10 kV „Beograd 41" koje je opremljeno najsavremenijim sistemom zaštite i upravljanja baziranom na IEC 61850 protokolu. Dodatno, zaštitno-upravljačke jedinice ugrađene na 10kV naponskom nivou poseduju funkcije i metode za monitoring rada. Za metodu koja će se prvobitno testirati za monitoring i estimaciju stanja prekidača izabrana je I^2t metoda. Glavna prednost je činjenica da veličina I^2t predstavlja reprezentaciju toplotnog impulsa kao fizičke veličine i na optimalan način estimira naprezanje prekidačkog elementa, ne samo pri kvarovima i kratkim spojevima u mreži, već i pri regularnom radu. Takođe, parametrizacija funkcionalnog bloka ne zahteva poznavanje specifičnih veličina od kojih neke zahtevaju i eksperimentalno ispitivanje prekidača pa je primenljiva i potencijalna upotreba u postrojenjima sa postojećom, starijom primarnom opremom za koju je teže naći kataloške podatke. Važno je napomenuti da ova metoda prati samo električno trošenje i ne može predvideti mehaničke kvarove, npr. pucanje opruge, curenje gasa ili probleme sa pogonskim mehanizmom. Funkcija je aktivirana na izvodnim i transformatorskim ćelijama, a definisani skup signala i merenja prenosi se IEC61850 protokolom na stanični računar i arhivira se u lokalnom SCADA sistemu sa mogućnošću daljeg prenosa.

2.1 Analiza i evaluacija procesnih podataka 10kV prekidača

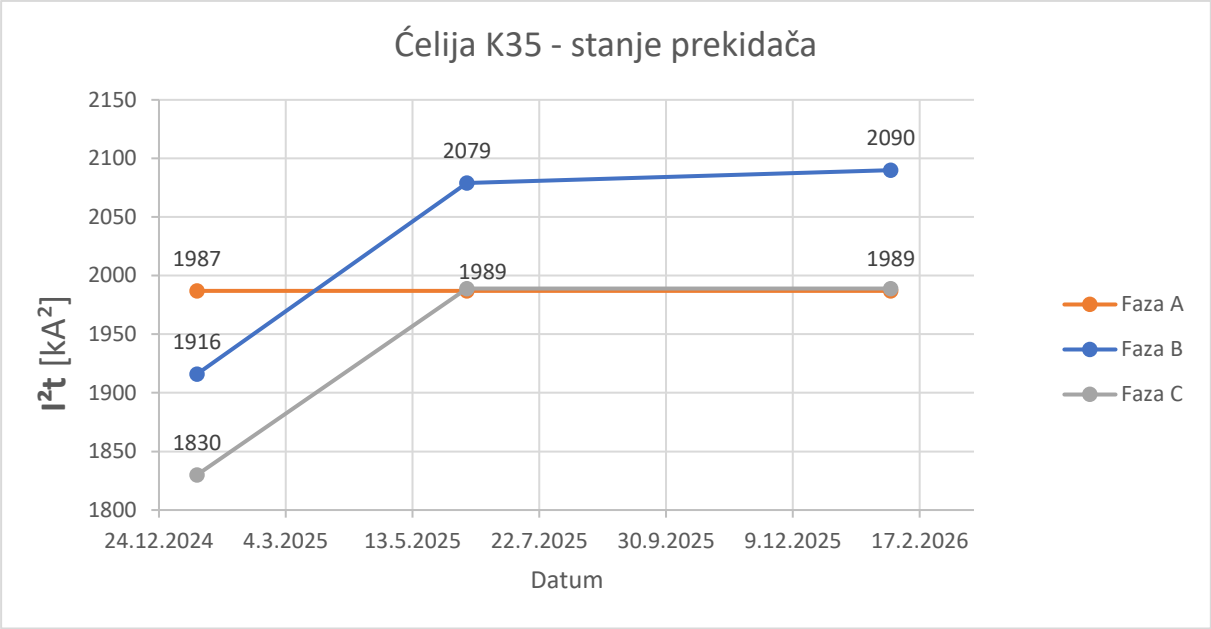
Analiza sakupljenih podataka je urađena za period od početka 2025. godine. Skup signala koji su arhivirani na operatorskoj radnoj stanici, na posebno kreiranim prikazima, sadrže vrednosti primarne struje zabeležene prethodnom isključenju prekidača kao i akumuliranu vrednost I^2t funkcionalnog bloka po fazama. Vrednosti očitane iz zaštitno-upravljačkih releja putem prokola IEC 61850 arhiviraju se zajedno sa vremenskim pečatom što omogućava njihov prikaz i analizu tokom dužih vremenskih perioda što i jeste osnovni cilj.

Uvidom u sakupljene vrednosti, odabran je prekidač u ćeliji K35 za analizu jer je, prema podacima u uređaju relejne zaštite i upravljanja prekinuo najvišu struju kvara. Ćelija K35 predstavlja odvodnu, vazduhom izolovanu, ćeliju opremljenu prekidačem sa vakumskom komorom za gašenje luka. Nominalna struja prekidača je 630A dok je prekidna moć I_{sc}=25kA. Kataloški, proizvođač garantuje 50-100 manipulacija sa maksimalnom strujom kvara od 25kA, te se ukupna maksimalna I^2t vrednost koju prekidač može izdržati, uz približno trajanje luka od 15ms, računa prema formuli:

$$I^2t_{sc} = {I_{sc}}^2 \cdot t_{arc} = 25kA^2 \cdot 0{,}015s \approx 9{,}37MA^2 \quad (3)$$

$$I^2t_{max} = {I_{sc}}^2 \cdot br.operacija = 9{,}37A^2 \cdot 50 \approx 468MA^2 \quad (4)$$

Prema arhivi događaja, u ćeliji K35 je datuma 12.06.2025. došlo do međufaznog kratkog spoja prilikom kog su zabeležene struje od 1600A i 1610A u fazama B i C respektivno. Vrednosti I2t registra koje su akumulirane pre kvara su iznosile 1987, 1916 i 1830 kA^2 redom u fazama A, B i C. Nakon isključenja kvara, funkcija monitoringa stanja prekidača je zabeležila nove vrednosti I^2t u fazama B i C prikazane na slici 4 koje iznose 2079 kA^2 u fazi B i 1989 kA^2 u fazi C.



Slika 4 – Kretanje vrednosti I2t registra u prekidaču ćelije K35

Sa obzirom da se izračunati toplotni impuls računa nezavisno za kontakte svake faze tako i limit I^2t_{max} treba umanjivati nezavisno za svaku od faza kao što je prikazano u tabeli 1.

Tabela 1. Estimacija životnog veka prekidača

Registar	Stanje prekidača na osnovu I^2t pre kvara	Preostala vrednost I^2t pre kvara
Faza A	$I^2t_{maxA} - \sum^n I^2t = 468 - 1{,}98 = 466{,}02\ MA^2$	$I^2t_{maxA} - \sum^{n+1} I^2t = 468 - 1{,}98 = 466{,}02\ MA^2$
Faza B	$I^2t_{maxB} - \sum^n I^2t = 468 - 1{,}91 = 466{,}09\ MA^2$	$I^2t_{maxB} - \sum^{n+1} I^2t = 468 - 2{,}01 = 465{,}99\ MA^2$
Faza C	$I^2t_{maxC} - \sum^n I^2t = 468 - 1{,}83 = 466{,}17\ MA^2$	$I^2t_{maxC} - \sum^{n+1} I^2t = 468 - 1{,}99 = 466{,}01\ MA^2$

Proizvođači prekidača najčešće preporučuju remont kada preostala vrednost po fazi dođe do 80% I^2t_{max}, prilikom čega treba porediti trenutno najkritičniju odnosno najmanju vrednost po fazi. Maksimalna vrednost I^2t se može podesiti i u uređaju relejne zaštite, te se upozorenje ili alarm generiše komunikacionim putem kada ga izračunata vrednost dostigne.

3 ZAKLJUČAK

Opisane funkcije estimacije stanja prekidača postoje u gotovo svim savremenim uređajima relejne zaštite i upravljanja koji se instaliraju na srednjem i visokom naponu ali se one ne nalaze u planovima za parametrizaciju, te najčešće ostaju dostupne ali neiskorišćene. Pored aktivacije potrebno je i isplanirati prenos i analizu podataka iz procesa što sa savremenim platformama postaje jednostavnije. Uz dalje prikupljanje podataka iz postrojenja i njihove analize, plan autora je kreiranje simulacionog okruženja gde bi svaka od funkcija bila testirana i estimacije

svake od njih objedinjene i analizirane zajedno u cilju preciznije estimacije mehaničkog i električnog naprezanja kojima je prekidački element bio izložen.

LITERATURA

[1] Siemens AG „SIPROTEC 5 Overcurrent Protection 7SJ82/7SJ85/7SJ86 - Manual", V9.50, Document Edition C53000-G5040-C017, 2025/2026.
[2] Siemens AG „Vacuum Circuit-Breakers SION 3AE5 and 3AE1 - Equipment Manual“, Order No. HG 11.02, rev. 2021.
[3] CIGRE Working Group A3.12 „*Technical Brochure 510: Guide for monitoring of circuit breakers*“, Paris, 2012..
[4] R. Smeets, L. van der Sluis, M. Kapetanović, and D. Peelo „*Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems*“, 2nd ed., West Sussex, UK: Wiley, 2021.