

Indikator okvar za pametna nadzemna srednjenapetostna (SN) elektrodistribucijska omrežja

Miha Vidrgar, Matija Bogataj, Samo Golob

Sipronika d.o.o., Tržaška 2, SI-1000 Ljubljana
miha.vidrgar@sipronika.si

Abstract

The paper presents an updated version of a fault indicator used for detecting an earth fault, short circuit and voltage fault in direct/resistor earthed, isolated or compensated with e.g. a Petersen coil overhead medium voltage distribution networks.

The indicator has been designed for integration into SmartGrid middle voltage distribution networks, therefore it incorporates the characteristics such as remote management, control and automation in combination with disconnectors.

First, a mathematical model was developed to help with the construction of the first prototype. Next the software was written that enabled testing and calibration of the prototype on a test site constructed for this purpose. The results were consistent with the given mathematical model.

The design process, principles of operation, new extended functionality, and calibration of the fault indicator are briefly described in the rest of the paper.

1 Uvod

Pametna energetska omrežja (ang. SmartGrids) postajajo resničnost v evropskem prostoru. Koncept pametnih omrežij pomeni nadgradnjo obratovanja in načrtovanja elektroenergetskega omrežja. V svojem bistvu koncept združuje evropske okoljske smernice 20/20/20, ki zavezujejo k 20% zmanjšanju emisij toplogrednih plinov ter spodbujajo k 20% deležu energije iz obnovljivih virov in k 20% izboljšani energetske učinkovitosti. Vse to do leta 2020 [1]. V razvojne politike pametnih omrežij se že več let intenzivno vključuje tudi slovenska strokovna javnost.

Tudi v podjetju Sipronika d.o.o. smo svoje raziskave in razvoj usmerili na področje pametnih omrežij. V tem konceptu smo razvili indikator okvare za nadzemna srednjenapetostna (SN) distribucijska omrežja. Od predhodne verzije indikatorja, ki je bil prav tako razvit v našem podjetju, je izboljššan z vidika funkcionalnosti, avtomatizacije in komunikacijskih lastnosti. Indikator združuje lastnosti naprav pametnih

omrežij, kot sta daljinsko vodenje (v kombinaciji z odklopnim ločilnikom ali odklopnikom) in avtomatizacija.

V nadaljevanju članka predstavljamo delovanje in uporabo indikatorja okvare na SN omrežju. Predstavljen je tudi testni poligon za umerjanje indikatorja ter izvedene meritve na njem.

2 Opis naprave

Indikator okvare je namenjen detekciji različnih tipov okvar v nadzemnih SN omrežjih. Med tipe okvar prištevamo zemeljski stik, kratki stik in izpad električne napetosti.

Indikator se uporablja v SN omrežjih z različnimi tipi ozemljitve nevtralne točke, ki je lahko direktna, uporovna, izolirana ali kompenzirana s pomočjo Petersenove tuljave [2]. Detektirano okvaro indikator javlja s svetlobnim signalom in v obliki SMS sporočila ali preko GPRS podatkovne zveze na koncentrador - računalnik, ki je povezan s centrom vodenja.

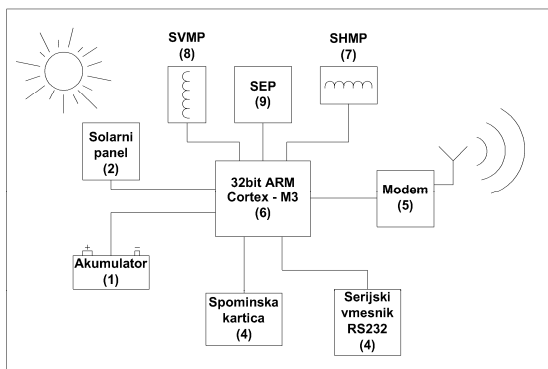
Indikator okvar je predviden za montažo na podporni steber (lesene, betonske ali kovinske) SN daljnovoda na razdalji 3m od vodnikov (slika 1). Indikator ni občutljiv na razporeditev vodnikov na drogu. Napajanje zagotavlja svinčev akumulator (slika 2-1), ki se polni s pomočjo solarnega panela (slika 2-2). Parametriranje in posodabljanje je mogoče lokalno preko komunikacijskega vmesnika RS232 (slika 2-3), preko spominske kartice (slika 2-4) ali daljinsko preko podatkovne zveze (CSD, GPRS,...) (slika 2-5). Nastavitve za detekcijo okvare vsebujejo: prag okvarnega toka, čas trajanja okvare in število avtomatskih ponovnih vklopov. Digitalno analogne signale obdeluje NXP-jev 32-bitni ARM Cortex-M3 mikrokontrolnik [3] (slika 2-6). Aplikacijo za mikrokontrolnik smo napisali v razvojnem okolju uVision IDE [4] v programskem jeziku C, ki se izvaja na RL-RTX operacijskem sistemu proizvajalca Keil [5].



Slika 1: Primer uporabe indikatorja v realnem okolju.

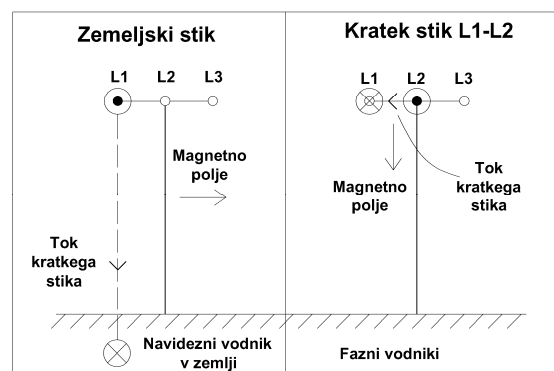
2.1 Opis detekcije okvar

Detekcija okvar se izvaja brezkontaktno s pomočjo treh senzorjev. Detekcija okvare nastane kot posledica spremembe jakosti magnetnega polja v okolici vodnikov. Za merjenje jakosti magnetnega polja smo uporabili dva ločena senzorja (tuljavi), senzor horizontalnega magnetnega polja (SHMP – slika 2-7) in senzor vertikalnega magnetnega polja (SVMP – slika 2-8). Za merjenje izmeničnega električnega polja smo uporabili senzor električnega polja (SEP – slika 2-9). Zaradi večje dolgoročne stabilnosti senzorjev so ti izvedeni brez mehanskih nastavitvev ojačanj.



Slika 2: Shematski prikaz delovanja naprave.

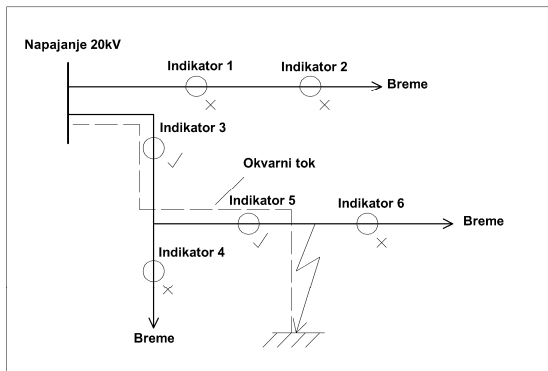
Vse analogne vrednosti se v mikrokrmilniku pretvorijo v digitalne s pomočjo 12-bitnega analogno digitalnega pretvornika (A/D). Vse tri signale iz senzorjev nato pretvorimo iz časovnega v frekvenčni prostor s pomočjo diskretne Fourierjeve transformacije (DFT). Tako pridobljene veličine med seboj primerjamo in preračunavamo, da ugotovimo prisotnost okvare. V napravi sta senzorja za magnetno polje zamaknjena za 90° . Tako lahko ločimo med zemeljskim in kratkim stikom. Pri zemeljskem stiku (slika 3-levo) se magnetna poljska jakost poveča v horizontalni smeri saj se tok kratkega stika zaključuje po zemlji pod vodnikom. Pri kratkem stiku (slika 3-desno) se tok zaključuje po dveh stikajočih vodnikih, kar pomeni, da se polje poveča v vertikalni smeri.



Slika 3: Princip detekcije okvarnega toka. Z L1, L2, L3 so označeni fazni vodniki daljnovoda.

Omrežja, ki imajo izolirano ali kompenzirano nevtrarno točko (na primer kompenzacija s Petersenovo tuljavo) imajo tok zemeljskega stika delno ali celoti kompenziran (izničen). Med okvaro se zaradi kapacitivnega značaja omrežja pojavi povišana vrednost višjih harmonskih komponent tokov, predvsem petega harmonika. Naš indikator te višje harmonske komponente tokov zazna in s pomočjo algoritmov izračuna verjetnost za okvaro.

Princip lociranja okvare v razvejanem omrežju je shematsko prikazan na sliki 4. S slike je razvidno, da se je zemeljski stik zgodil med petim in šestim indikatorjem. Okvarni tok se zaključuje po vodniku nad tretjim in petim indikatorjem, preko mesta okvare in po zemlji do napajalne točke. Okvaro signalizirata samo indikatorja tri in pet, preko katerih teče okvarni tok. Ostali indikatorji ostanejo neaktivni, vendar okvaro zaznajo.



Slika 4: Lociranje okvare v omrežju.

3 Potek razvoja naprave

Pri razvoju indikatorja smo v prvi fazi razvili matematični model stacionarnega stanja pod linijami SN daljnovodov. Stacionarno stanje smo simulirali v programu MathCad. V modelu smo upoštevali prispevke posameznih električnih (napetost) in magnetnih (tok) poljskih jakosti. V modelu nismo upoštevali vpliva daljnovodnega droga na potek silnic električnega in magnetnega polja.

Na podlagi izračunanih razponov električnih in magnetnih poljskih jakosti pri različnih pogojih, smo izdelali prototip indikatorja s primernimi senzorji in pravilno zasnovanimi pripadajočim analognim delom (ojačanje in filtriranje). Opis umerjanja je bolj podrobno opisan v poglavju 4.

Nato so se zvrstile še tri različice prototipa, v katerih smo postopno optimizirali izvedbo senzorjev, dodajali funkcionalnost ter zmanjševali površino vezja in njegovo porabo energije.

Vzporedno smo razvijali programsko opremo za samo napravo in uporabniški vmesnik za konfiguracijo in nadzor. V nadaljevanju sledi podrobnejši opis programske opreme.

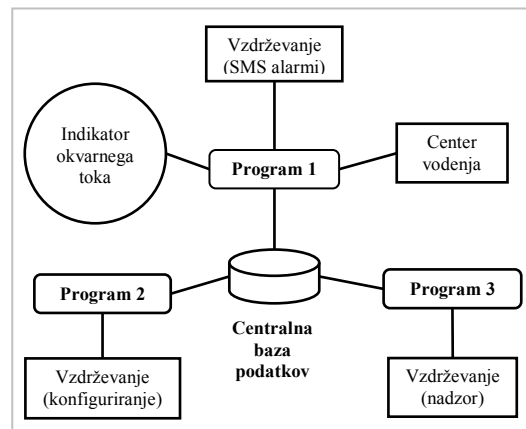
3.1 Razvoj programske opreme

Za konfiguriranje in daljinski nadzor indikatorjev smo razvili tri ločene programe, ki tečejo na operacijskem sistemu Microsoft Windows in uporabljajo centralno bazo podatkov. Delovanje programskega sistema je razvidno na sliki 5.

Prvi program deluje kot storitev, ki skrbi za povezavo z indikatorji, komunicira z nadzornim centrom in vzdrževalci ter skrbi za bazo podatkov.

Drugi program ima uporabniški vmesnik, preko katerega urejamo seznam indikatorjev in jih razporedimo v logične skupine. Posameznemu indikatorju ali skupini lahko nastavimo razne parametre delovanja in detekcije, odločimo pa se lahko tudi za prenos datoteke za posodobitev programske opreme. Poleg tega lahko urejamo tudi seznam in skupine vzdrževalcev, ki so prejemniki SMS obvestil v primeru zaznane okvare na SN omrežju.

Tretji program je storitev spletne aplikacije za nadzor indikatorjev in pregledovanje preteklih dogodkov. S preprostim obiskom spletne strani vzdrževalec dobi pregled nad stanjem vseh indikatorjev in zgodovino dogodkov.

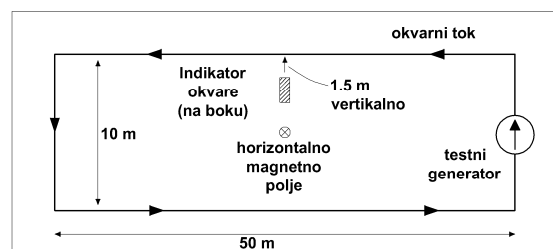


Slika 5: Povezovanje treh neodvisnih programov s centralno bazo podatkov in zunanjimi enotami.

4 Testiranje naprave

Za realno umerjanje/testiranje bi potrebovali dostop do delujočega daljnovoda, ki bi ga lahko poljubno izklapljali in na njem simulirali okvare (zemeljski stik in kratki stik). Zaželeno bi bilo tudi spreminjanje tipa ozemljitve ničelnega vodnika. Tudi, če bi v praksi imeli na voljo zelene testne pogoje, bi bilo takšno testiranje drago, saj se pri vsaki okvari obrablja tako stikalna oprema kot vodniki na daljnovodu.

Zaradi nezmožnosti testiranja na realnem omrežju smo se odločili, da postavimo testni poligon in sicer v merilu 1:2. Za naš primer bi bila tudi konstrukcijska izvedba testnega poligona v vertikalni postavitvi prezahtevna, nepraktična in predraga (višina vodnika 5 m nad zemljo, merilo 1:2 in uporaba visoke napetosti). Tako smo se odločili za kompromis med zahtevnostjo izvedbe in verodostojnostjo meritev. Postavili smo testni poligon v enakem merilu, le da v horizontalni ravnini z omejeno dolžino in nizko napetostjo. Shematski prikaz poligona je razviden na sliki 6.

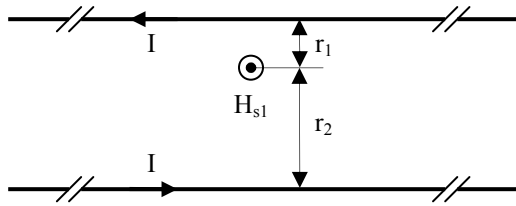


Slika 6: Testni poligon za zemeljski stik.

Za primer zemeljskega stika smo izdelali matematični model daljnovoda. Izpeljali smo enačbo za izračun jakosti magnetnega polja v točki,

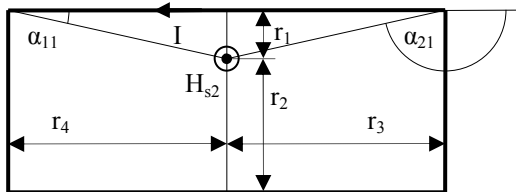
oddaljeni za razdaljo r_i od posameznega vodnika (i), po katerem teče električni tok I . Skupna jakost magnetnega polja v točki H_s je seštevek jakosti posameznih vodnikov.

Matematični model daljnovoda, prikazan na sliki 7, predstavlja neskončno dolg vodnik, ki se nahaja 5m nad zemljo oz. 1,5 m (oznaka na sliki r_1) nad našo napravo in navideznim vodnikom, ki poteka na zrcalni razdalji 5m pod zemljo oz. 8.5 ali r_2 pod napravo. Tok okvare se zaključuje po zgornjem vodniku, preko oddaljenega mesta okvare in po spodnjem vodniku do oddaljenega izvora toka. Tok, ki teče po navideznem vodniku ima enak vpliv na magnetno polje, kot če bi isti tok tekkel po celotni globini zemlje pod vodnikom.



Slika 7: Matematični model daljnovoda med okvaro, primer: zemeljski stik.

Poenostavljen matematični model daljnovoda na sliki 8 ima vodnike končnih dolžin. Razdalja do mesta izvora toka r_3 in razdalja do mesta okvare r_4 sta v neposredni bližini naprave.



Slika 8: Poenostavljen matematični model daljnovoda med okvaro, primer: zemeljski stik.

Magnetno poljsko jakost (H_i) v poljubni točki točki na razdalji r_i od neskončnega vodnika, po katerem teče tok I , izračunamo po enačbi 1. Za končno dolg vodnik uporabimo enačbo 2.

$$H_i = \frac{I}{2\pi r_i} \quad (1)$$

$$H_i = \frac{I}{4\pi r_i} (\cos \alpha_{1i} - \cos \alpha_{2i}) \quad (2)$$

Skupna magnetna poljska jakost H_s v točki je seštevek posameznih prispevkov magnetne poljske jakosti vseh vodnikov.

S primerjavo (enačba 3) matematičnega modela daljnovoda med okvaro (slika 7) in poenostavljenega matematičnega modela daljnovoda med okvaro (slika 8) smo dokazali, da

zaradi končne dolžine in krajnih vodnikov meritve pri teh dimenzijah odstopajo za +1%.

$$\Delta H = \left(\frac{H_{s2} - H_{s1}}{H_{s2}} \right) \cdot 100 \approx 1\% \quad (3)$$

To odstopanje smo upoštevali pri umerjanju naprave. Pri umerjanju smo uporabili testni generator, ki je proizvajal signal sinusne oblike s frekvenco 50Hz in nastavljive amplitude do 200A.

Pri postopku umerjanja smo testirali delovanje naprave v okvarnih pogojih in tako pridobili korekcijske faktorje za nadaljnjo nastavitve občutljivosti analognih delov senzorjev.

5 Sklep

Spremembe in popravki, ki smo jih naredili na novi verziji indikatorja okvare so bili potrebni, da bo naprava še naprej lahko delovala zanesljivo in v skladu z vsemi zahtevami, ki jih narekuje koncept pametnih omrežij.

Distribucijska podjetja se vedno bolj odločajo za omrežja s kompenzirano ali izolirano nevtralnno točko zaradi zanesljivosti in zagotavljanja kakovosti dobavljene električne energije. Ne glede na to, da lahko tako omrežje nemoteno deluje tudi med zemeljskim stikom, je potrebno v najkrajšem možnem času (zaradi varnosti) odpraviti okvaro, zato so indikatorji nepogrešljivi del vsakega omrežja.

Literatura

- [1] Elektroinštitut Milan Vidmar. Vizija razvoja koncepta SmartGrids v Sloveniji.
- [2] Application of Sensitive Earth Fault Relays to Petersen Coil Earthed and Insulated Power Systems, <http://www.areva-td.com>
- [3] NXP: 32-bit ARM Cortex-M3 microcontroller, http://www.nxp.com/documents/data_sheet/LPC1768_66_65_64.pdf
- [4] Keil uVision IDE, <http://www.keil.com/uvision/>
- [5] Keil RL-RTX operacijski sistem, <http://www.keil.com/arm/rl-arm/kernel.asp>