

Določanje tehničnega stanja odklopnikov s pomočjo AFNIS neuro-fuzzy sistema

Leon Maruša¹, Lovro Belak², Robert Maruša²

¹ Univerza v Mariboru: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Smetanova ulica 17, 2000 Maribor

² ELES d.o.o., Hajdrihova 2, 1000 Ljubljana
leon.marus@gmail.com
robert.marus@eles.si
lovro.belak@eles.si

Abstract

The purpose of this article is to present a method of assessment of technical condition and consequently maintenance or replacement of high-voltage circuit breakers. The article describes circuit breaker's parameters used for determining assessment of technical condition, theoretical description and development procedure of ANFIS neuro-fuzzy system that was used as a solution in MATLAB/Simulink environment and lastly comparison of calculated simulation results with real measured data obtained by ELES d.o.o.

1 Uvod

V visokonapetostnem omrežju služijo odklopniki za preklon obratovalnih stanj ter kot izvršni del zaščitnega sistema za izklop okvar v omrežju. Naloga odklopnika je, da brez bistvene poškodbe kontaktnega sistema odklopi in izklopi nazivno vrednost toka ali tok kratkega stika, ki nastane ob okvarah. Odklopnik je zaradi tega najpomembnejši stikalni element, zato mora biti primerno vzdrževan in v brezhibnem stanju. Večja vzdrževalna dela na odklopniku predstavljajo praviloma velik strošek, zato je potrebno izvesti racionalizacijo in optimiranje vzdrževanja. Pri tem je potrebno upoštevati kriterij pomembnosti odklopnika v omrežju, kot tudi tehnično stanje. V svetu je kar nekaj metod za optimiranje vzdrževalnih opravil, ki delujejo na podlagi priporočenih vnaprej določenih vrednosti. Eden izmed takšnih programskih rešitev je tudi programsko orodje CalposMain proizvajalca ABB, ki predvsem obdeluje parametre, ki so značilni za odklopnike proizvajalca ABB.

V prispevku smo želeli izvesti vrednotenje na osnovi parametrov in izkušenj, ki jih je v 30-letnem ciklu obratovanja in vzdrževanja izvedel ELES d.o.o. Obravnavali smo različne tipe različnih proizvajalcev, tako smo za 6 različnih tipov (proizvajalcev) odklopnikov napetostnega nivoja 400/220/110 kV izvedli za vsakega po 15 meritev.

2 Opis parametrov za vrednotenje tehničnega stanja odklopnika

Vhodni podatki, ki so pomembni za vrednotenje so bili podani za naslednje segmente:

Pomembnost naprave v EES: (Podatki pridobljeni iz NEPLAN orodja)

Obdobje obratovanja: Podatek pomemben zaradi vedenja o stanju materialov, porcelanske izolacije, koroziji pomembnih delov, otrdelosti gumijastih tesnil in razpadanja cementnih zalivk med prirobnico in porcelanastim izolatorjem.

Število delovanj odklopnika: Podatek pomemben za stanje pogonskega mehanizma, kinematike izolacijskega droga za močnostni sistem ter obrabe raznih ležajev, semering tesnil itd... Pri močnostni komori je to pomemben podatek zaradi obrabe in dotrajanosti mehanskega dela kontaktnega sistema.

Vsota izklopnih kratkostičnih tokov: Podatek je pomemben predvsem zaradi obrabe in dotrajanosti močnostnega kontaktnega sistema oz. predvsem zaradi kontaktov za nagorevanje. Pri odklopnikih z izolacijskim medijem SF₆ je z tem parametrom povezana tudi količina razpadlih produktov SF₆, ki so izredno toksični, pri oljnih izvedbah pa je ta podatek pomemben zaradi količine sajastih delcev v olju ker zmanjša električno prebojno trdnost olja.

Puščanje plina SF₆ ali olja: Podatek pomemben iz ekoloških razlogov, saj je plin SF₆ toplogreden, olja pa lahko onesnažijo podtalne vode. SF₆ je izolacijski medij, zato je tlak potrebno spremljati zaradi pravilnega delovanja odklopnika. Pri padcu tlaka plina na nizko vrednost se izvede blokada delovanja odklopnika, v nasprotnem primeru bi lahko prišlo do eksplozije ali preboja.

Časovni parametri delovanja odklopnika: Podatek pomemben zaradi nadzora vseh mehanskih parametrov in kinematike odklopnika. Odstopanja ali nedoseganje parametrov pomenijo okvaro odklopnika.

Padci napetosti na kontaktnem sistemu: Pomemben podatek za kontrolo celotnega kratkostičnega sistema odklopnika. Iz meritev lahko določimo mesto slabega stika ali obrabljenost glavnih kontaktov v izklopni komori.

Dostopnost rezervnih delov: Pomemben podatek, zlasti

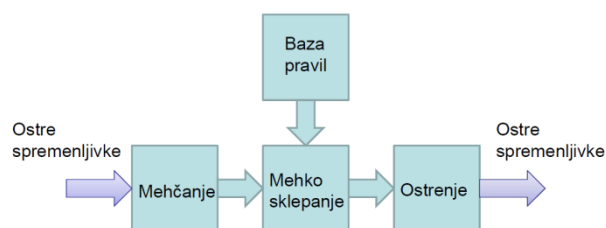
glede na strošek zamenjave odklopnika, saj je zaradi dolgih dobavnih rokov rezervnih delov, zapletenih postopkov zamenjave ali cene rezervnih delov racionalnejše izvesti zamenjavo odklopnika. Subjektivna vizualna ocena: Pomemben podatek, ki ga lahko poda samo vzdrževalno osebje na osnovi dolgoletnih izkušenj in prakse. Tu se pridobijo zlasti podatki, ki niso merljivi in lahko na osnovi ugotovitev iz prakse napovemo tehnično stanje odklopnika in posledice, ki se lahko zaradi tega tudi zgodijo.

Vsak od parametrov je obtežen z ustrežno utežjo, ki znaša med 1 in 10, saj vsak parameter vpliva nekoliko drugače na tehnično stanje odklopnika. Uteži glede na parametre so enake za vse proizvajalce opreme. Kot izhod smo na osnovi analize podatkov dobili vrednost oz. kriterijske meje tehničnega stanja s katerimi določimo izvedbo potrebnih del ali morebitno zamenjavo vrednotenih odklopnikov.

3 Teoretični opis ANFIS neuro-fuzzy (NF) sistema

Neuro-fuzzy (NF) je skupno ime za nevronske mehke sisteme, ki si nastavijo svoje parametre (pripadnostne funkcije, pravila, itd.) za mehki sistem s pomočjo umetne nevronske mreže (ANN - Artificial Neural Network). Tako NF sestoji iz dveh med seboj povezanih sistemov, t.j. fuzzy sistem in ANN, od zastavljenega problema pa je odvisno kateri tip NF sistema bomo izbrali za doseg želenih rezultatov. Fuzzy sistem ali mehki sistem je sistem, ki sklepa na podoben način kot razmišlja človek (npr. namesto da starost človeka karakteriziramo z oštevilčenjem v letih, lahko rečemo, da je človek mlad, star, zelo star, ipd.), ravno ta vrsta sklepanja, pa nam omogoča izvedbo naše aplikacije. V naši raziskavi smo uporabili ANFIS sistem, ki je sestavljen iz ANN z vzvratnim razširjanjem (backpropagation) in Sugeno mehkega sistema [1].

Posebnost Sugeno mehkega sistema je, da na vhode pripeljemo vhodne parametre (ostre spremenljivke), katere nato omehčamo, tako da jim določimo pripadnostne funkcije (te pretvorijo npr. človekova leta v pripadnost določeni starostni skupini), nato se izvede sklepanje s pomočjo baze pravil, na podlagi te baze pa dobimo izhodne funkcije, ki se seštejejo in gredo skozi postopek ostrenja. Izhod iz Sugeno mehkega sistema nam torej predstavlja našo procentualno vrednost tehničnega stanja sistema. Ker pa je najbolje, da se parametri Sugeno mehkega sistema nastavijo na podlagi že znanih izmerjenih vrednosti, smo v ta namen uporabili ANN [2].



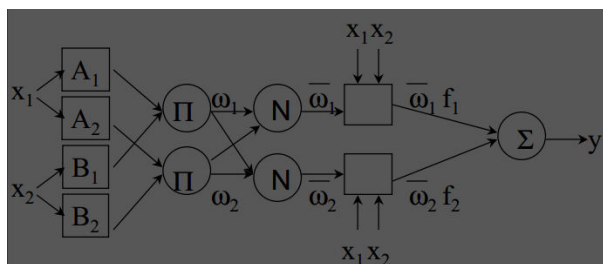
Slika 1. Shematski prikaz splošnega mehkega sistema [2].

ANN je programska struktura, ki je zelo podobna biološki nevronske mreži in sicer tako, da je sestavljena iz več slojev nevronov, ki so med sabo povezani v določenem vrstnem redu. Glavna značilnost ANN je, da se je iz nabora podatkov sposobna naučiti obnašanja določenega sistema in s tem lahko velja kot njegov približek oz. simulacija na tudi na podatkih, ki niso bili uporabljeni za učenje. Podatki za učenje so sestavljeni iz vhodnih in izhodnih podatkov, v našem primeru so bili vhodni podatki vrednosti parametrov tehničnega stanja odklopnikov, izhodni podatki pa procentualno vrednotenje tehničnega stanja odklopnika. ANN smo tako uporabili zato, da nam je nastavila obliko, pozicijo in število pripadnostnih funkcij mehkega sistema ter kreirala pravila za mehko sklepanje, vse na podlagi podatkov za učenje [3].

ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) sistem je kombinacija zgoraj opisanega. Backpropagation ANN se nauči, kako se mora mehki sistem obnašati in na podlagi tega spreminja parametre mehkega sistema, tako da dobimo na izhodu ustrezen rezultat. Kot vidimo na (slika 2) je ANFIS sistem sestavljen iz petih slojev. Vhoda x_1 in x_2 sta povezana na prvi sloj, ki preko funkcij A_1, A_2, B_1, B_2 izvede mehčanje ostrih vhodnih spremenljivk. Drugi sloj nam nato izvede operacijo T-norme, nad mehkiimi vhodnimi vrednostmi, tako dobimo uteži w_i , nato pa v tretjem nevronske sloju te uteži normaliziramo (utež, ki je bila izračunana v prejšnjem sloju delimo s seštevkom vseh uteži ki so speljane v nevron). Četrty sloj bi se sicer uporabil za ostrenje, vendar pa v primeru Sugeno sistema se tukaj izvede izračun posledice na osnovi sklepanja po mehkih pravilih (1).

$$\begin{aligned} \text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \text{ AND } (x_2 \text{ is } B_1) \text{ THEN } f_1 &= p_1 x_1 + q_1 x_2 + r_1 \\ \text{IF } (x_1 \text{ is } A_2) \text{ AND } (x_2 \text{ is } B_2) \text{ THEN } f_2 &= p_2 x_1 + q_2 x_2 + r_2 \end{aligned} \quad (1)$$

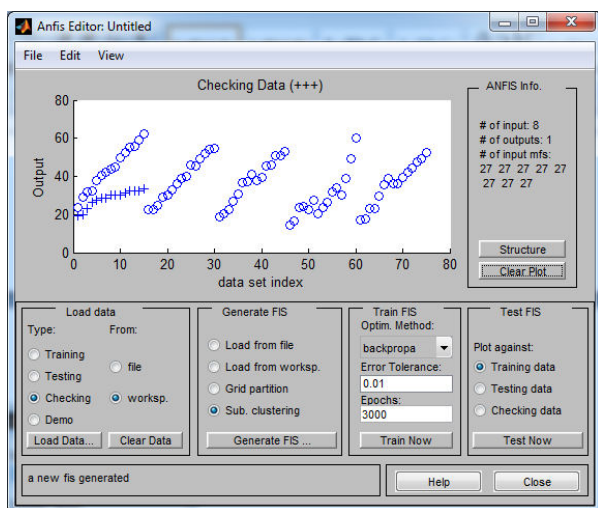
Rezultat izračuna pa je tako obtežen polinom z izračunanimi koeificienti p_i, q_i, r_i (slika 2). Zadnji peti sloj nam dobljene polinome le še sešteje in spelje na izhod ANFIS sistema [4].



Slika 2. Primer dvo-vhodnega, dvo-nevrnskega ANFIS sistema [4].

4 Izvedba aplikacije v programskem okolju MATLAB/Simulink

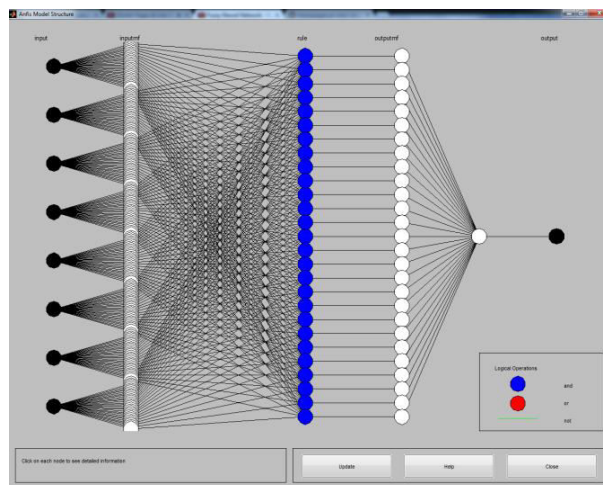
Ker bi bilo pisanje celotne programske kode za kreiranje vseh delov ANFIS sistema zelo zamudno delo, smo se odločili, da bomo uporabili za ta namen ustrezna orodja v MATLAB-u. MATLAB ima že vgrajeno orodje imenovano Anfis Editor, ki zelo olajša načrtovanje celotnega ANFIS sistema na uporabniku prijazen način. Na (slika 3) je prikazan grafični vmesnik, za načrtovanje ANFIS sistema.



Slika 3. GUI in parametri, katere smo uporabili za kreiranje ANFIS sistema (graf prikazuje razporeditev podatkov za učenje in validacijskih podatkov).

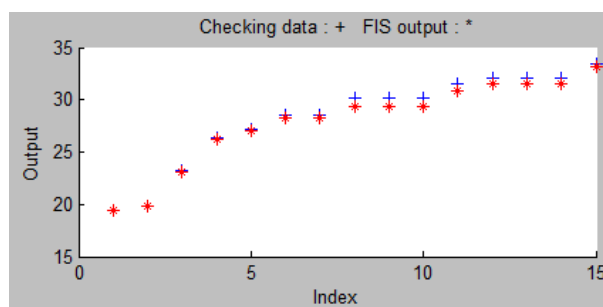
V orodje moramo seveda vnesti podatke za učenje (Trainingdata) ter pa seveda podatke za validacijo (Checkingdata), da preverimo ali naš sistem deluje pravilno. V ta namen smo v MATLAB-ovem urejevalniku ustvarili skupino podatkov, ki si bili zapisani v matrikah ustreznih velikosti in oblik, da smo lahko z njihovo pomočjo ustvarili ANFIS sistem. Vrednosti v matrike smo vpisovali ročno, glede na pretekle izmerjene podatke o parametrih pretvornikov ter podatke o tem ali so bili ti pretvorniki zamenjani ali ne oz. ali so se na njih izvajala vzdrževalna dela. Omenimo, da so naši podatki normirani, torej vsak parameter je ocenjen z oceno od 1 do 10, ob tem je seveda še pomnožen z ustrezno vplivno utežjo, izhod pa je lahko 0 ali 1, odvisno ali je bil odklopnik zamenjan ali ne. Matriko izmerjenih podatkov smo nato razdelili na dva dela, podatke za učenje in validacijske podatke

ter jih uvozili v Anfis Editor orodje. Kot metodo generiranja mehkega sistema smo uporabili Sub Clustering metodo, ki je bila primerna za našo aplikacijo. Kot ANN s katero bomo naučili kako naj se naš ANFIS sistem obnaša smo izbrali metodo učenja backpropagation, pri tem pa naj ne bo odstopanje rezultatov kreiranih z našim ANFIS sistemom ter podatki za učenje večje od 0,01. Za to napako smo orodju postavili pogoj, da naj toleranco odstopanja pripelje čim bližje vrednosti 0,01 v ne več kot 3000 epohah. Ko orodje poženemo nam ustvari ANFIS sistem ter samo določi optimalno strukturo števila nevronov v posameznem sloju, kot to prikazuje (slika 4).



Slika 4. Struktura ANN ustvarjena z orodjem Anfis Editor.

Ko smo dobili ustrezen ANFIS sistem, smo le tega nato uvozili v Simulink, kjer smo izvedli simulacijo naše aplikacije. Še prej pa smo preverili, kako se rezultati našega ANFIS sistema ujemajo z validacijskimi podatki, saj se na njih ANN za ANFIS sistem ni učila in je odstopanje dosti večje kot pa 0,01. Na (slika 5) je prikazano odstopanje izhodnih podatkov iz ANFIS sistema (rdeča) od validacijskih podatkov (modra). Vidimo da je ujemanje dokaj dobro, torej naš sistem deluje pravilno.

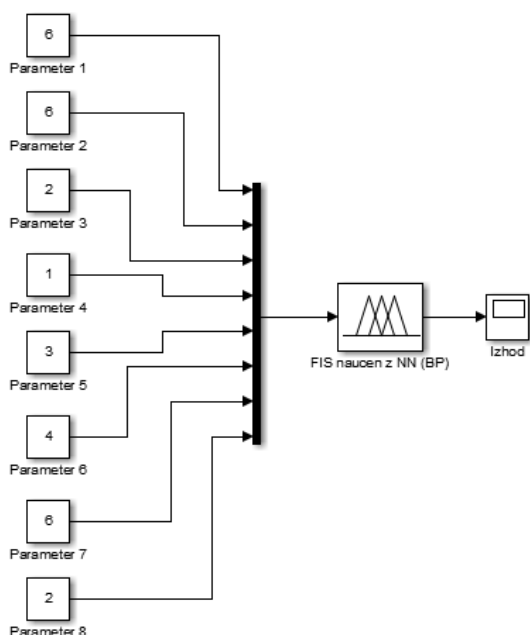


Slika 5. Primerjava izhoda ANFIS sistema z validacijskimi podatki.

5 Simulacijski rezultati

Tako dobljeni ANFIS sistem smo nato uvozili v Simulink, kjer smo izvedli simulacije. Na (slika 6) je prikazana simulacijska shema, kjer smo kot vhodne spremenljivke nastavljali 8 parametrov, ki predstavljajo

tehnično stanje odklopnika. Teh 8 parametrov je nato speljanih v splošni Simulink-ov blok za mehke sisteme, v tem bloku smo definirali, da se naj izvaja naš prej dobljeni ANFIS sistem, ki nam glede na vhodne parametre generira rezultat. Izračunano izhodno spremenljivko, ki nam predstavlja procentualno tehnično stanje sistema smo tako prikazovali na simulacijskem osciloskopu.



Slika 6. Simulacijska shema aplikacije za izračun tehničnega stanja odklopnika.

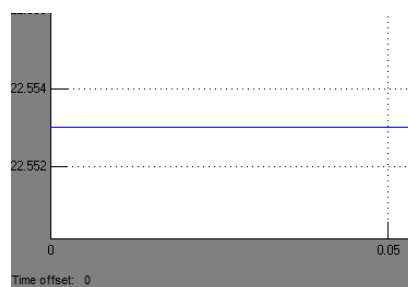
Kot merilo za potreben izveden ukrep glede na vrednost izhoda, smo definirali kriterijske meje, ki nam določajo, katera vrsta dela naj se izvede ob upoštevanju velikosti izhodnega rezultata ANFIS sistema. Tabela 1 prikazuje ukrepe glede na velikost izhodnega rezultata, oznaka PD pomeni pravilnost delovanja odklopnika.

Tabela 1. Ukrepi glede na izračunano izhodno vrednost ANFIS sistema.

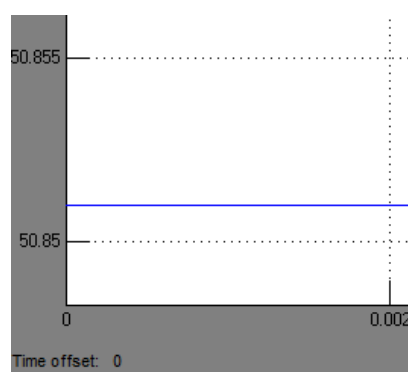
$PD \leq 40 \%$	Zamenjavo je potrebno izvesti
$40 \% \leq PD \leq 80 \%$	Potrebno je izvesti vzdrževalni pregled
$PD \geq 80 \%$	Zamenjave ni potrebno izvesti

Poizkusili smo nekaj kombinacij parametrov, za katere smo poznali, kakšen bi moral biti pričakovani rezultat izhoda iz sistema. Na spodnjih slikah je prikazan primer rezultatov za tri takšne izračune. Rezultati v so izračunani za parametre odklopnika od 1 do 8, parametri pa so zapisani v enakem zaporedju, kot v drugem poglavju. Parametri na (slika 7) si sledijo [3,3,1,1,3,4,2,1], izračunan izhod sistema pa je bil 22.5 %, v (slika 8) so uporabljeni parametri za odklopnik [8,7,4,4,5,5,5,7], izračunan rezultat pa je bil 50,8 % in v

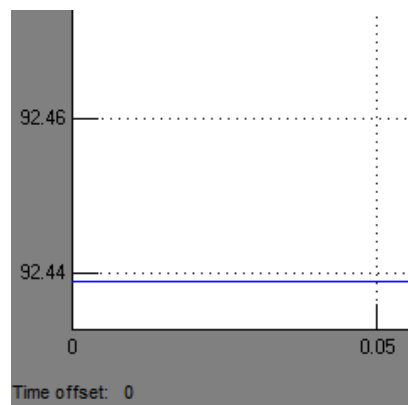
(slika 9) smo uporabili parametre [7,9,7,8,9,8,9,7] izračunan izhod pa je bil 92,4 %.



Slika 7. Rezultat tehničnega stanja odklopnika za parametre [3,3,1,1,3,4,2,1].



Slika 8. Rezultat tehničnega stanja odklopnika za parametre [8,7,4,4,5,5,5,7].



Slika 9. Rezultat tehničnega stanja odklopnika za parametre [7,9,7,8,9,8,9,7].

Iz teh rezultatov torej sklepamo, da prvi odklopnik deluje v že iztrošenem stanju in ga je potrebno zamenjati, drugi odklopnik ima še dokaj dobre parametre in se bodo na njem izvedla le vzdrževalna dela, medtem ko tretji odklopnik deluje zelo dobro znotraj vseh okvirjev in ga ne bo potrebno zamenjati.

6 Zaključek

Začetni cilj te raziskave je bil, da preverimo ali je mogoče s pomočjo ANFIS neuro-fuzzy sistema izračunati kdaj je potrebno odklopnik, ki deluje v omrežju zamenjati oz. na njem opraviti vzdrževalna

dela, glede na izmerjene parametre, ki opisujejo tehnično stanje odklopnika. Rezultati v simulacijah so pokazali, da naša aplikacija deluje zelo dobro v primeru izračuna, kdaj je potrebno na odklopniku izvesti določena dela. Sistemi takšne vrste so uporabni ne le za našo aplikacijo, temveč še na veliko drugih področjih, pri tem pa naj poudarimo, da je ANFIS le ena izmed mnogih izbir, katero bi lahko uporabili za našo aplikacijo. Obstajajo še boljše in bolj specifične napredne metode, ki bi bile zelo primerne za rešitev našega problema, vendar pa so ponavadi kompleksnejše in težavnejše za programiranje, zadovoljivost in točnost rezultatov bi pa bila v tem primeru le malce boljša.

Literatura

- [1] Golob, Marjan. Zapiski iz predavanj IVPP: Neuro - fuzzy sistemi. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2014.
- [2] Golob, Marjan. Zapiski iz predavanj IVPP: Vrste mehkih sistemov. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2014.
- [3] Golob, Marjan. Zapiski iz predavanj IVPP: Uvod v ANN. Maribor: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, 2014.
- [4] Bonissone, Piero P. Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems (ANFIS): Analysis and Applications. 2002. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute (RPI). Dostopno na: <http://homepages.rpi.edu/~bonisp/fuzzy-course/Papers-pdf/anfis.rpi04.pdf> (Citirano: 9.7.2014).