

Jasna Bančak, dipl.ing.el.
Eduard Kramberger, dipl.ing.el.
Dragan Bučan, ing.el
Končar – Montažni inženjering dd

RAZLOZI NAKNADNE UGRADNJE ZAŠTITE SABIRNICA U TS 110/35/10(20) KV RAŠA

SAŽETAK

Kvarovi sabirnica su rjeđi od kvarova na vodovima, međutim kvar sabirnica ima ozbiljnije posljedice s obzirom na štetu na mjestu kvara te stabilnost cijelog sustava. Iz tog razloga rekonstrukcija TS 110/35/10(20) kV Raša obuhvaća uz revitalizaciju sustava zaštite i upravljanja i ugradnju sabirničke zaštite koja do sada u postrojenju nije postojala. U referatu su razmotreni razlozi ugradnje sabirničke zaštite u postrojenjima gdje ona do rekonstrukcije nije ugrađivana. Dat je također i prikaz numeričkog sustava zaštite sabirnica ugrađen u TS 110/35/10(20) kV Raša, zajedno s opisom funkcija i načinom izvedbe.

Ključne riječi: sabirnice, numerička zaštita

REASONS FOR SUBSEQUENTLY EMBEDDING OF BUSBAR PROTECTION IN SS 110/35/10(20) KV RAŠA

SUMMARY

Busbar faults are less often than line faults. On the other hand busbar fault has more serious consequences considering damage on the fault location and system stability. Reconstruction of SS 110/35/10(20) kV Raša, along with refurbishment of protection and control systems, comprises embedding of busbar protection, till now not existing in substation. This paper considers reasons for embedding busbar protection in substations, where it wasn't embedded till now. The paper also gives review of numerical busbar protection system built in SS 110/35/10(20) kV Raša, along with description of functions and realization method.

Key words: busbar, numerical protection

1. UVOD

Poremećaji u opskrbi električnom energijom ne samo da imaju ozbiljne posljedice na ekonomiju već uzrokuju i razne tranzijentne i stalne pojave koje će često utjecati na stabilnost i sigurnost dijela ili čak i cijelog elektroenergetskog sustava. Utjecaj takvih pojava se povećava s ovisnošću industrijskih djelatnosti o sigurnosti dobave električne energije te o njenoj kvaliteti.

Iako je broj sabirničkih kvarova u odnosu prema ukupnom broju kvarova relativno malen, takav kvar ako se brzo i selektivno ne isključi, redovito izaziva velike štete i ima teške posljedice za elektroenergetski sustav u cjelini. Na osnovi statistike kvarova i pogonskih događaja, može se zaključiti da se događaju 0,2 do 1 kvar na sabirnicama na 1 godinu i 100 izvoda.

U tom kontekstu i sustavi zaštite sabirnica postaju sve važniji za stabilnost i raspoloživost cijelog elektroenergetskog sustava. Jedan jedini incident koji uključuje sabirnice ili kvar prekidača povezan s kvarom voda može utjecati na rad cijele TS i time na opskrbu mnogo potrošača.

Budući da sabirnička zaštita ograničava utjecaj kvara sabirnica na cijelu mrežu, ona mora biti pouzdana kako bi se spriječio nepotreban rad prekidača. Treba selektivno isklapati samo one prekidače neophodne za uklanjanje kvara sabirnica. Vrijeme uklanjanja kvara je važno zbog ograničavanja štete nastale strujom kvara, a selektivnost zbog održavanja integriteta elektroenergetskog sustava.

2. ZAŠTITA SABIRNICA

2.1. Opis funkcije

Funkcija zaštite sabirnica je pokretanje brzog isklopa prekidača radi selektivnog izoliranja štćene sekcije sabirnica za bilo koji kvar unutar štćene zone. Kako bi se smanjili poremećaji u radu postrojenja, sustav zaštite mora ispravno identificirati područje kvara i dati nalog za iskljućenje samo nužnog i minimalnog broja prekidača. Kako bi se to postiglo sustav zaštite mora ispravno diskriminirati, ali zbog zahtjeva na brzinu diskriminacija bazirana na vremenu zadržske nije prihvatljiva. Rizik od nepotrebnog isključivanja mora biti sveden na minimum.

Kako bi se izbjegla prorada prekidača za kvarove odmah izvan zone zaštite, zaštita sabirnica mora biti stabilna za takve slućajeve, odnosno za kvarove izvan štćene zone zaštita ne smije dati nalog za iskljućenje. Treba naglasiti da zahtjevi za brzinom prorade i stabilizacija zaštite za kvarove van zone zaštite mogu biti kontradiktorni, jer poboljšanje jednog vida zaštite često znaći pogoršanje drugog. Npr. povećanje sigurnosti će vjerojatno biti postignuto na štetu vremena prorade.

Sabirnićke sekcije bi trebalo apsolutno diskriminirati, odnosno ne bi smjelo biti sekvencijalnog iskljućenja spojnog polja. Svi prekidaći prikljućeni na sabirnice u kvaru moraju trenutaćno biti iskljućeni, bez obzira da li ta polja doprinose u struji kvara ili ne.

2.2. Zahtjevi na ulaze i izlaze

A) Ulazi

- Uzorci trofaznog strujnog signala i signala nulte struje za svaki prekidać na sabirnicama
- Slika rastavljaća
- Start za zaštitu od zatajenja svakog prekidaća

B) Izlazi

- Isklopi za sve prekidaće na sabirnicama s opcijom prijenosa iskljućenja na prekidaće u susjednim TS
- Blokada ukljućenja svakog iskljućenog prekidaća

2.3. Funkcionalni zahtjevi i tehnićke osobine

Kako bi sabirnićka zaštita ispravno i pouzdano radila ona mora zadovoljavati i neke dodatne funkcionalne zahtjeve i tehnićke osobine kao što su npr:

- Nazivni faktor stabilnosti mjerne jedinice za međufazne kvarove ne smije biti manji od faktora prekidne moći ugrađenih prekidaća. Stabilizacija ne smije utjecati na osjetljivost zaštite pri kvarovima unutar zone štćenja. Faktor stabilizacije K treba biti podesiv.
- Osjetljivost zaštite za kvarove unutar zone štćenja mora biti podesiva u granicama od 10 do 50% minimalne struje trolnog kratkog spoja.
- Mjerni terminali trebaju detektirati sve vrste kvarova (jednofazni, dvofazni i trofazni) u svim pogonskim stanjima postrojenja.

- Vrijeme prorade zaštite ne smije biti duže od 30 ms, a zaštitu treba bazirati na barem dva isklonpa kriterija, od kojih ni jedan ne smije biti naponski ovisan zbog maksimalne stabilnosti zaštite.
- Slika rastavljača, odnosno stanje signalnih kontakata visokonaponskih aparata, se treba stalno nadzirati i u slučaju da se nađu u neispravnom položaju, treba alarmirati i aktivirati odgovarajuću blokadu. Alarm i blokada se trebaju aktivirati i kod prekida ulaza mjernih krugova.

3. OPRAVDANOST UGRADNJE SABIRNIČKE ZAŠTITE U TS 110/35/10(20) KV RAŠA

3.1. Tehnička opravdanost ugradnje sabirničke zaštite

Postoji više razloga za ugradnju sabirničke zaštite, pri čemu koncepcija sustava relejne zaštite ovisi o konfiguraciji mreže, naponskoj razini, veličini struja kratkog spoja, tretmanu zvjezdišta kao i pogonskim iskustvima u pojedinom dijelu elektroenergetskog sustava. Neki od razloga ugradnje sabirničke zaštite u TS 110/35/10(20) kV Raša su:

1. Brže isključenje sabirničkih kvarova je, u visokonaponskim mrežama, poželjno zbog očuvanja stabilnosti u slučaju višepolnih kvarova.
2. Skraćenje vremena isključenja sabirničkih kvarova bitno smanjuje posljedice razornog djelovanja električnog luka, ne samo na direktno pogođenoj opremi, nego smanjuje i vjerojatnost širenja kvara u 110 kV postrojenju.
3. Kratko vrijeme isključenja sabirničke zaštite olakšava vremensko podešenje relejne zaštite.
4. Skraćnje vremena trajanja jednopolnih kvarova u kruto uzemljenim mrežama rješava mnoge probleme glede oblikovanja i dimenzioniranja uzemljivača, iznošenja potencijala, induciranih prenapona.
5. Ugradnjom sabirničke zaštite, zbog kraćeg vremena trajanja kratkog spoja, omogućena je racionalnija izvedba nekih elemenata 110 kV postrojenja. Tako postignute uštede kompenziraju ulaganje u sustav relejne zaštite.

3.2. Ekonomska opravdanost ugradnje sabirničke zaštite

U TS 110/35/10(20) kV Raša imamo pet vodnih, tri trafo i dva rastavno sabirnička (spojna) polja. Procjenjena ukupna cijena sabirničke zaštite za cijelu TS je cca 600 000 kn, odnosno oko 10 000 € po polju. U procjenjenoj cijeni sekundarne opreme zaštita sabirnica čini cca 16%, a u cijenama vodnog i trafo polja zaštita sabirnica sudjeluje s cca 19% odnosno 13%.

Što više polja u postrojenju imamo ugradnja zaštite je opravdanija. Npr za jedno postrojenje s "H" shemom od dva vodna, dva trafo i jednim rastavno sabirničkim poljem procjenjene cijene 2 000 000 kn, zaštita sabirnica bi bila cca 19% te cijene

Kod svake ugradnje sabirničke zaštite trebalo bi težiti da cijena sabirničke zaštite bude ispod 15% cijene sekundarne opreme. Ako se uzme u obzir i tehnička opravdanost, te integracija zaštite od zatajenja prekidača u sabirničku zaštitu, njena je ugradnja opravdana. Dodatno opravdanje ugradnje sabirničke zaštite može se naći i u činjenici da TS Raša u elektroenergetskom sistemu Istre služi za napajanje potrošača u području Labinštine. Uz to TS Raša ima funkciju tranzita energije iz TE Plomin prema Puli, kao regionalnom središtu, te ostalim dijelovima Istre, što povećava njenu važnost u sustavu.

4. SUSTAV ZAŠTITE SABIRNICA UGRADEN U TS 110/35/10(20) KV RAŠA

4.1. Općenito o REB 500

REB 500 je potpuno distribuirana numerička zaštita sabirnica i zaštita od zatajenja prekidača s povećanom funkcionalnosti i mogućnostima nadzora, dizajnirana za brze i selektivne zaštite sabirnica na frekvencijama 50, 60 i 16,7 Hz. Struktura hardvera i softvera je modularna i omogućava jednostavnu konfiguraciju zaštite koja odgovara izgledu primarnog sustava. Fleksibilnost sustava omogućava zaštitu

svih konfiguracija sabirnica od jednostrukih do prstenastih. Zaštita ima kapacitet napajanja do 60 jedinica polja i ukupno 32 sabirničke zone.

Numerička zaštita sabirnica REB 500 detektira sve fazne i zemljospojeve u elektroenergetskom sustavu uzemljenom preko otpornika ili kruto uzemljenom, te fazne kvarove u neuzemljenom sustavu. Strujni transformatori koji napajaju zaštitu moraju zadovoljiti samo skromne tehničke zahtjeve. S dva nezavisna algoritma i softvera slike sabirnica izbjegava se kriterij zone provjere koji može uzrokovati u određenim uvjetima neželjeno blokiranje rada prekidača. Zaštita radi selektivno za sve kvarove koji se dogode unutar zone zaštite i ostaje stabilna za sve kvarove izvan zone zaštite.

Distribuirana struktura REB 500 poboljšava pouzdanost i radne karakteristike, štedi prostor i reducira ožičenje, čime se TS lakše nadograđuje ili proširuje. Poboljšane mogućnosti, reducirani hardver i druge prednosti numeričke tehnologije omogućavaju korisniku tehničke i ekonomske uštede tijekom cijelog radnog vijeka REB 500 sabirničke zaštite.

4.2. Glavne karakteristike REB 500

REB 500 je sustav niskoimpedantne zaštite sabirnica. Vrijeme isklopa je kratko i nezavisno o veličini i konfiguraciji postrojenja. Posjeduje visoku funkcionalnu pouzdanost zbog dva nezavisna kriterija mjerenja:

- Algoritmom stabilizirane diferencijalne struje
- Algoritmom usporedbe smjera struje

Sustav pokazuje visoku stabilnost, čak i u slučaju zasićenja strujnih transformatora, i ima samo jedno sklopovlje za nazivne struje 1 i 5 A, sve pomoćne napone napajanja između 48 V DC i 250 V DC te nominalne frekvencije 50, 60 i 16,7 Hz.

Veze između jedinica polja i centralne jedinice izvedene su optičkim kabelima sa maksimalnom dopuštenom duljinom 1200 m. Optička veza osigurava prijenos podataka bez interferencije čak i u blizini VN kabela.

4.3. Dizajn sustava sabirničke zaštite u TS 110/35/10(20) kV Raša

4.3.1. Jedinice polja

Jedinica polja je sučelje između zaštite i procesa primarnog sustava koja objedinjava glavne strujne transformatore, rastavljače i prekidače te izvodi povezano prikupljanje podataka, preprocesiranje, kontrolne funkcije i funkcije zaštite na razini polja. Također predstavlja i električnu izolaciju između primarnog sustava i unutarnje elektronike zaštite.

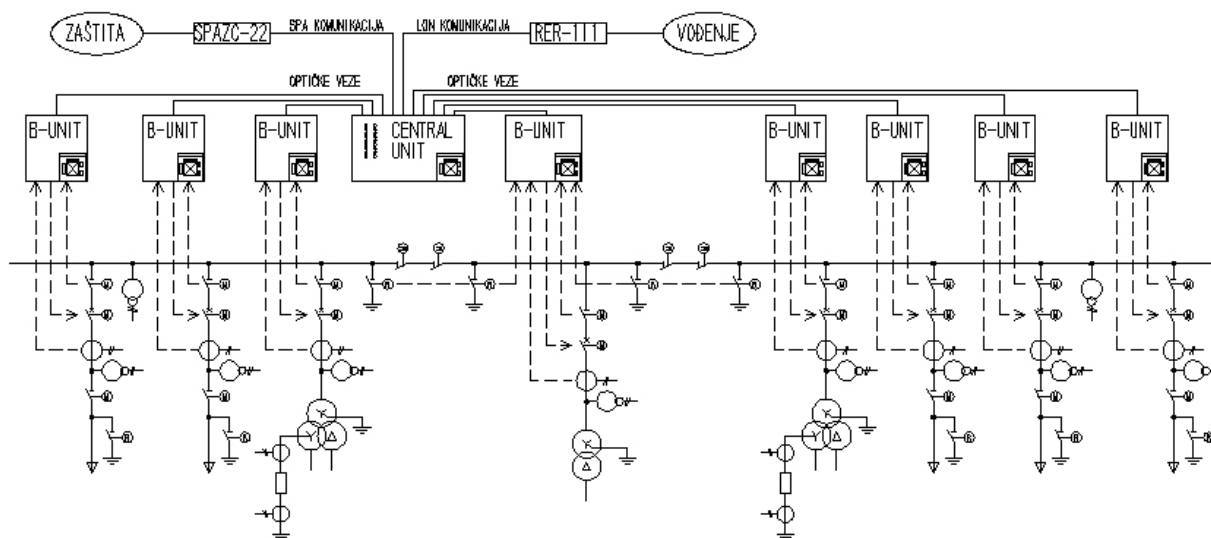
Ulazni pretvarački modul se sastoji od četiri ulazna strujna transformatora sa terminalima za 1 A i 5 A. Nisu potrebni nikakvi dodatni strujni transformatori, jer se razlika između omjera strujnih transformatora kompenzira odgovarajućom konfiguracijom softvera pojedinačne jedinice polja. U analognom ulazno-pretvaračkom modulu analogni signali struje se pretvaraju u numeričke signale koji se zatim numerički preprocesiraju i filtriraju.

Svaka jedinica ima 20 binarnih ulaza i 16 relejnih izlaza. Binarni I/O modul detektira i procesira pozicije rastavljača i spojke, signala blokade i starta, vanjskih signala resetiranja itd. Binarni ulazi rade na nominalnom rasponu od 48 do 250 V DC. Svi binarni izlazi su opremljeni sa brzim relejima koji se mogu koristiti ili za signaliziranje ili za pokretanje.

Logika softvera omogućava pripisivanje raznih funkcija ulaznim i izlaznim kanalima. Vremensko obilježje je dodano svim podacima kao što su struje, naponi, binarni ulazi, događaji i dijagnostičke informacije prikupljene jedinicom polja.

Jedinica polja je opremljena lokalnom inteligencijom i izvodi lokalnu zaštitu, a također bilježi i događaje i poremećaje. U slučaju da je centralna jedinica izvan pogona ili da je poremećena optička komunikacija generira se alarm, jedinica polja će nastaviti raditi, a sve lokalne zaštite i zaštite jedinica kao i bilježenje poremećaja će ostati potpuno funkcionalne. U slučaju kvara jedinica polja se lako može zamijeniti.

Kao što se vidi iz Slike 1. u TS Raša imamo osam jedinica polja, i to pet jedinica za vodna polja i tri jedinice za trafo polja. Jedinice polja prikupljaju signale iz pojedinačnih polja. Ti signali uključuju trenutačno stanje učinskih prekidača i sabirničkih rastavljača, te vrijednosti struja sa strujnih transformatora. Svaka jedinica polja prima također i signal za proradu iz distantne zaštite za funkciju ZZP-a.



Slika 1. Shema sustava zaštite sabirnica REB 500 u TS 110/35/10(20) Raša

4.3.2. Centralna jedinica

Centralna jedinica konfigurira sistem, sadrži sliku sabirnica, određuje jedinice polja unutar sustava i setove radnih parametara, kontrolira sve procese, osigurava sinkronizaciju sustava te kontrolira komunikaciju sa sustavom stanične kontrole. Moduli se unutar centralne jedinice instaliraju ovisno o veličini složenosti i funkcionalnosti sabirničkog sustava.

Varijable za funkcije zaštite sabirnica se deriviraju dinamički iz podataka procesa koje dobavljaju pojedinačne jedinice polja. Podaci o procesima se preusmjeravaju prema centralnom procesoru preko optičkog koncentratora.

4.3.3. Algoritmi zaštite sabirnica

Algoritmi zaštite se baziraju na dva mjerna principa:

- Mjerenju stabilizirane diferencijalne struje
- Određivanju faznih odnosa između napojnih struja – faznoj usporedbi

Algoritmi obrađuju kompleksne vektore struja koji se dobivaju Fourierovom analizom i sadrže samo osnovne komponente frekvencije. Sve DC komponente i harmonici se potiskuju.

Prvi mjerni princip koristi algoritam stabilizirane diferencijalne struje. Struje se procjenjuju pojedinačno za svaku fazu i svaku sekciju sabirničke zone.

Na Slici 2 diferencijalna struja je:

$$I_{Dif} = \left| \sum_{n=1}^N I_{Ln} \right| \quad (1)$$

A stabilizacijska struja je:

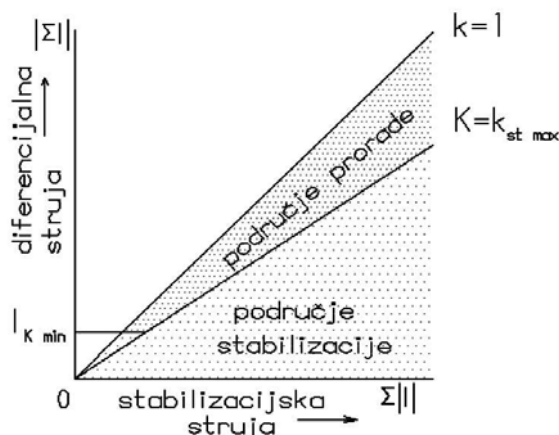
$$I_{stab} = \sum_{n=1}^N |I_{Ln}| \quad (2)$$

gdje je N broj napojnih vodova. Sljedeća dva uvjeta moraju biti postignuta za detekciju unutarnjeg kvara:

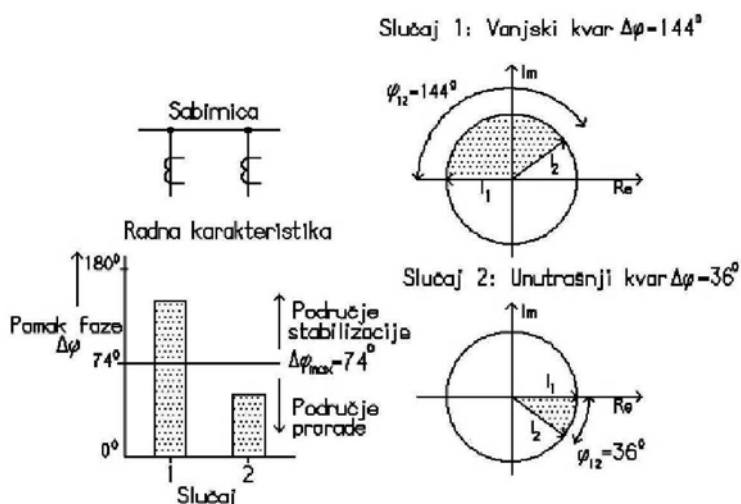
$$k_{st} = \frac{I_{Dif}}{I_{Stab}} > k_{st \max} \quad (3)$$

$$I_{Dif} > I_{k \min} \quad (4)$$

gdje je k_{st} faktor stabilizacije, $k_{st \max}$ je granični faktor stabilizacije kojemu je tipična vrijednost 0.80, a $I_{k \min}$ je početna vrijednost diferencijalne struje. Ti se proračuni i evaluacije izvode u centralnoj jedinici.



Slika 2. Radna karakteristika amplitudno stabilizirane diferencijalne funkcije



Slika 3. Karakteristika faznog komparatora za određivanje smjera energije

Drugi mjerni princip određuje smjer toka energije i uključuje usporedbu faza struja svih vodova spojenih na sabirnice. Uspoređuje se osnovna frekvencija fazora struja φ . U slučaju unutarnjeg kvara sve dolazne struje imaju gotovo jednaki fazni kut, dok je za vrijeme normalnog rada ili vanjskog kvara barem jedna struja otprilike 180° pomaknuta u fazi u odnosu na ostale.

$$\varphi_n = \arctan \left[\frac{\text{Im}(\underline{I}_{Ln})}{\text{Re}(\underline{I}_{Ln})} \right] \quad (5)$$

Algoritam detektira unutarnji kvar kada razlika između faznih kutova struja svih vodova leži unutar kutova prorade faznog komparatora.

Zadatak obrade algoritama se dijeli između jedinice polja i centralne jedinice. Svaka jedinica polja neprestano nadzire struje svog dovoda, obrađuje ih prema svojem programu i filtrira rezultate prema Fourierovoj funkciji. Analogni podaci filtrirani na taj se način zatim šalju redovnim intervalima u centralnu jedinicu koja radi prema algoritmima zaštite sabirnica.

Ovisno o faznom kutu kvara, vrijeme prorade varira na $I_{dif}/I_{kmin}=5$ između 20 i 30 ms zajedno sa vremenom prorade pomoćnih releja. Prema potrebi signal prorade centralna jedinica može blokirati provjerom iznosa struje ili napona, pa se prorada omogućava samo u slučaju kada je struja iznad određenog minimuma, a napon ispod određene vrijednosti.

4.3.4. Zaštita od zatajenja prekidača

Kada prekidač dobije nalog za isklon od strane relejne zaštite prolazi još neko vrijeme do prekida toka struje kvara, to vrijeme ovisi o karakteristikama prekidača. Ako je prekidač neispravan, kvar se zbog njegovog neisklapanja ne može eliminirati pa se mora inicirati dodatni isklon prekidača. Dodatni se isklon inicira ili lokalno rezervnim isključenjem ili daljinski rezervnim isključenjem iz susjednih TS.

Funkcije zaštite od zatajenja prekidača motre u jedinicima polja fazne struje nezavisno o zaštiti sabirnica. Postoje dva vremenska člana sa zasebnim postavkama. Start funkcije zaštite od zatajenja prekidača je omogućen ili:

- Interno na razini jedinica polja putem algoritama zaštite sabirnica
- Eksterno binarnim ulazima sa zaštite voda ili transformatora

Nakon prorade i isteka prvog stupnja, zaštita od zatajenja prekidača inicira prvo ponovni isklon vlastitog prekidača, a zatim i isklapanje svih susjednih prekidača i šalje signal prorade u stanicu na drugom kraju voda. Prvi vremenski član radi samostalno u jedinici polja. Ako kvar traje i nakon isteka drugog stupnja, funkcija zaštite koristi sliku sabirnica za isključenje svih ostalih vodova koji napajaju tu sekciju sabirnica putem njihovih terminala polja.

5. ZAKLJUČAK

Brzina isklopa kvara je, uz osjetljivost i selektivnost, osnovna karakteristika sustava relejne zaštite. Povećavanje brzine isklopa kvara omogućava rješavanje niza problema koji se javljaju kod kratkih spojeva u elektroenergetskom sustavu, pa zbog toga sva tehnološka i konceptijska poboljšanja sustava relejne zaštite nastoje brzinu isklopa kvara povećati. Vrijeme isklopa kvara ne ovisi samo o vrsti zaštite, već i o koncepciji šticećenja određenog dijela elektroenergetskog sustava.

Sabirnički kvarovi u visokonaponskim mrežama, ako ne postoji posebna zaštita sabirnica, isključuju se u višem vremenskom stupnju distantne zaštite u susjednim visokonaponskim postrojenjima ili lokalnom zaštitom izvoda usmjerenom u pravcu sabirnica. U skladu sa planom podešenja relejne zaštite, distantna zaštita isključuje kvarove na susjednim sabirnicama isključivo u nižim vremenskim stupnjevima.

Ugradnjom zaštite sabirnica postiže se isključenje kvarova u 110 kV postrojenju u vremenu od 0,07s do 0,1s. Njenom je ugradnjom također omogućena i racionalnija izvedba elemenata 110 kV postrojenja, a te uštede kompenziraju ulaganje.

Uz tehničke kriterije opravdanosti ugradnje neke opreme vrlo je važno sagledati i ekonomsku opravdanost. Pri tome se vrlo često stvarni dobitak, pogotovo onaj vezan uz sigurnost i kvalitetu opskrbe potrošača, ne može jasno izraziti. Ipak s obzirom na važnost TS Raša u opskrbi područja Labinštine, i njene funkcije tranzita energije iz TE Plomin prema Puli i ostatku Istre može se reći da je njena ugradnja opravdana.

LITERATURA

- [1] H. Požar: Visokonaponska rasklopna postrojenja, Tehnička knjiga, Zagreb, 1990
- [2] B. Filipović-Grčić, I. Ivanković: Sistemski i funkcionalni zahtjevi na relejnu zaštitu u transformatorskim stanicama, Zbornik radova drugog simpozija o sustavu vođenja EES-a HK CIGRE, Cavtat 1996
- [3] Numerical Station Protection System REB500/REB500sys, ABB Switzerland Ltd, 2003