

Željko Ćosić, mag. ing. el.
Ravel d.o.o.
zeljko.cosic@ravel.hr

Sonja Ravlić, mag.ing.el.
Ravel d.o.o.
sonja.ravlic@ravel.hr

Velimir Ravlić, dipl.ing.el.
Ravel d.o.o.
velimir.ravlic@ravel.hr

POVEĆANJE PODNOSIVIH KRATKOSPOJNIH STRUJA I NAZIVNIH STRUJA POSTOJEĆIH TRANSFORMATORSKIH STANICA

SAŽETAK

Mnogi operatori elektroenergetskog sustava suočavaju se s problemom da zbog značajnog porasta potražnje za električnom energijom, dolazi do porasta struja kratkog spoja i prijenosnih kapaciteta, a termička i mehanička izdržljivost na koju je dimenzionirana ugrađena oprema više nije zadovoljavajuća. Zbog toga treba povećati podnosive kratkospojne struje i nazivne struje postojećih transformatorskih stanica.

Članak se bavi povećanjem podnosive kratkospojne struje kao i nazivne struje. Ukoliko se želi postići povećanje podnosive kratkospojne struje za postojeće visokonaponske transformatorske stanice nužno je provesti rekonstrukciju istih.

Ključne riječi: sabirnički sustav, povećanje kratkospojnih i nazivnih struja, transformatorske stanice, postrojenje

SUMMARY

Many electricity supply companies are faced with the problem that as a result of a strongly increased service and short-circuit current, the capacity and the thermal and mechanical short circuit withstand strength of their installations are not sufficient anymore and their installation must be uprated.

Uprating for higher short-circuit currents is the main subject of this article, there are a few words on uprating in the case of higher service currents. Making existing high voltage substations for higher short circuit and rated currents often means that a significant rebuilding is required.

Keywords: busbars systems, higher short-circuit and service currents, substations, switchgear

1. UVOD

U mnogo slučajeva nastaju problemi porasta nazivnih struja i/ili struja kratkih spojeva te dozvoljena termička i mehanička čvrstoća dijelova postrojenja nije dovoljna pa se mora izvršiti rekonstrukcija postrojenja u svrhu podizanja parametara postrojenja [1-3].

Kada porast struja kratkih spojeva u mreži prijeđe iznose podnosivih struja kratkih spojeva u transformatorskoj stanici, tada je moguće izvršiti neke od sljedećih aktivnosti:

- Razdijeliti mrežu u manje cijeline i predvidjeti određene interkonekcije pomoću viših napona (AC) i/ili DC veza (engl. DC links).
- Ograničiti struje kratkih spojeva u transformatorskim stanicama pogonskim metodama kao što su sekcioniranje.
- Primjena ograničavača struja kvara (engl. fault current limiters) s pripadajućom opremom.
- Povećanje podnosivih struja kratkih spojeva (čvrstoće) dijelova postrojenja i kompletne transformatorske stanice.
- Ugradnja vrlo brzih sustava relejne zaštite kojima se ograničava vrijeme djelovanja struja kratkih spojeva.

Prilagođenje postojećih transformatorskih stanica da mogu podnijeti veće struje kratkih spojeva i veće nazivne struje često znači potrebu za značajnom rekonstrukcijom. Ovaj članak daje pregled i smjernice mnogobrojnim sudionicima u procesu izgradnje i/ili rekonstrukcije visokonaponskih transformatorskih stanica kako donijeti neke odluke o rekonstrukciji. Pri tome su opisane neke mjere koje treba uzeti u obzir prilikom zahvata podizanja osnovnih parametara transformatorskih stanica pri čemu su razmatrana tehnička rješenja i nekih od najvažnijih transformatorskih stanica u Europi prema dostupnoj literaturi.

2. OPĆENITO

Razmatrat će se različiti osnovni dijelovi transformatorskih stanica u sljedećim odjeljcima, kao što su:

- sabirnički sustavi, pojedinačna polja;
- električni aparati;
- ostalo (zaštita, uzemljenje, prenaponi).

Ukoliko se želi povećati osnovne parametre transformatorskih stanica, tada treba analizirati više faktora koji utječu na projektiranje. Proračunima treba dokazati mehanička i električna naprezanja koja se mogu pojaviti u dijelovima transformatorske stanice. Ukoliko je vrlo teško odrediti razinu otpornosti na mehanička i električna naprezanja dijelova transformatorske stanice, u mnogo slučajeva moguće je napraviti odgovarajuća ispitivanja kako bi se odredila oprema koju treba zamijeniti. Takva ispitivanja su skupa izuzev slučajeva kada se žele podići osnovni parametri za više transformatorskih stanica s istim projektnim rješenjima.

Prilikom izvođenja radova na rekonstrukciji i/ili dogradnji posebno su teški sigurnosni aspekti kojima se moraju zadovoljiti zahtjevi zaštite na radu jer se, općenito, radovi izvode na jednom dijelu transformatorskih stanica, dok je ostali dio transformatorske stanice pod naponom odnosno u pogonu. Zbog toga je potrebno često poduzimati dodatne mjere zaštite na radu.

U slučaju ispitivanja, važno je pažljivo uzeti u obzir koja će se ispitivanja morati izvesti i gdje će se izvesti kratki spojevi. Pri tome treba istaknuti da su sile na nosive konstrukcije te visokonaponsku opremu i uređaje različite u slučaju trolinnih i dvopolnih kratkih spojeva. To znači da bi trebalo izvesti ispitivanja i u slučaju trolinnih i u slučaju dvopolnih kratkih spojeva.

2.1. Sabirnički sustavi

Ukoliko dođe do porasta struja kratkog spoja i nazivnih struja iznad veličine za koju je postrojenje bilo izvedeno tada treba postepeno tj. etapno izvršiti rekonstrukciju sabirničkog sustava kako bi zadovoljio nove uvjeta na lokaciji postrojenja.

Pri tome treba razmatrati sabirničke sustave s užetnim vodičima i sa cijevnim sabirnicama i to s raznih aspekata [1-4]. Treba naglasiti da je fenomen porasta sila za vrijeme kratkog spoja u slučaju užetnih vodiča još uvijek predmet istraživanja.

Pri tome se prvi maksimum zatezanja vodiča i momenata savijanja u nosivoj konstrukciji podudara s prvim maksimumom horizontalnog otklona vodiča koji može biti znatno veći nego početni vertikalni provjes, uglavnom zbog utjecaja zagrijavanja, elastičnosti vodiča i zbog savitljivosti nosive konstrukcije uslijed djelovanja sila kratkog spoja.

Vrijeme trajanja kratkog spoja je bitan parametar u energiji odskoka vodiča. U slučaju najnepovoljnijih vremena trajanja kratkog spoja ne dolazi samo do smanjenja razmaka između faza na minimalne vrijednosti blizu prve točke okretanja vodiča već također uzrokuje naprezanja u isto vrijeme što je često apsolutni maksimum (maksimalni propad).

Ukoliko se koriste spojni mostovi unutar sabirničkog sustava, mora se napraviti provjera da li otkloni vodiča za vrijeme kratkog spoja smanjuju minimalne dozvoljene razmake. Kako bi se ograničili navedeni otkloni vodiča primjenjuju se kraći izolatorski lanci u V-spoju (sa staklenim izolatorima ili sa štapnim izolatorima) ili potporni izolatori za spojne mostove.

Ukoliko se želi primijeniti treći sabirnički sustav potrebne su dodatne površine zemljišta u slučaju primjene zrakom izoliranih postrojenja. Tada se često koristi dodatni sabirnički sustav s hibridnim dispozicijom (engl. hybrid layout). Tada su sabirnički sustav i pripadajući sabirnički rastavljači smješteni u metalom oklopljeno i plinom SF₆ izolirano kućište.

2.1.1. Sabirnički sustav s užetnim vodičima

U slučaju porasta struja kratkog spoja u postrojenjima sa sabirničkim sustavima s užetnim vodičima dolazi do porasta sila na izolatorskim lancima i u točkama zavješanja. Zbog toga je potrebno u takvim slučajevima izvršiti kontrolu izolatorskih lanaca. Povećanje sila može biti značajno te je stoga potrebno poduzimati različite mjere:

- Razmak između faza treba povećati kako bi se smanjile sile. To često znači da će čvrstoća nosive konstrukcije biti dovoljna i da neće trebati vršiti rekonstrukciju nosive konstrukcije.
- Ukoliko se koriste vodiči u snopu, smanjenje razmaka između vodiča i optimalno pozicioniranje odstoynika može dovoljno smanjiti sile zatezanja za vrijeme kratkog spoja tako da nije potrebno izvoditi dodatne mjere u svezi ojačavanje nosive konstrukcije i ovjesnog pribora.

Ukoliko ne dolazi samo do povećanja struja kratkog spoja već i do povećanja nazivnih strujnih opterećenja, tada se mora povećati nazivni presjek vodiča ili se mijenja i materijal vodiča (u početku se koristio bakar, a kasnije se vrši zamjena s aluminijskim vodičima). Manja jedinična masa aluminija omogućava korištenje većih nazivnih presjeka bez povećanja sila zatezanja na nosive konstrukcije.

Zamjena vodiča u snopu sa cijevnim vodičima ima za posljedicu značajno smanjenje mase čelične nosive konstrukcije. Proračun sila uslijed porasta struja kratkog spoja je zadovoljavajuće točnosti tako da je kod visokih struja kratkog spoja i visokih vrijednosti nazivne struje primjena cijevnih sabirnica iz Al legura opravdana.

2.1.2. Sabirnički sustavi sa cijevnim vodičima

Ukoliko sile između faza za vrijeme kratkih spojeva prelaze dozvoljene vrijednosti tada se sile mogu smanjiti povećanjem razmaka između faza. To se najčešće izvodi povećanjem razmaka između potpornih izolatora pomicanjem potpornih izolatora na postojećoj nosivoj konstrukciji (ukoliko ona zadovoljava). U slučaju potrebe za zamjenom temelja nosive konstrukcije, to nije moguće. Tada je moguće koristiti nove potporne izolatore. U svijetu je bilo slučajeva primjene potpornih izolatora maksimalne prijelomne sile čak od 20 kN za postrojenja nazivnog napona 123 kV. Jasno je da postoji mogućnost zamjene i temelja, čelične nosive konstrukcije i potpornih izolatora.

Ukoliko je potrebno, zbog povećanja nazivne struje, izvršiti zamjenu vodiča, tada je posebnu pažnju potrebno posvetiti izboru spojnog pribora. Raspoloživo vrijeme za izvođenje radova je također važan faktor u svezi odluke o tehničkom rješenju. Općenito se izbjegava primjena zavarivanja za spajanje cijevnih vodiča jer zahtjeva više vremena, a i prisutnost specijaliziranih radnike, te su stroži zahtjevi u svezi zaštite na radu nego u slučaju primjene odgovarajućih spojnica.

Ukoliko je povećanje sila kratkog spoja određeno proračunima ili ispitivanjima, također obvezno treba izvršiti i kontrolu dozvoljenih naprezanja nosive konstrukcije (postolja) i temelja. To je vrlo bitno jer je povećanje podnosive mehaničke izdržljivosti temelja vrlo skupo.

Ako se cijevne sabirnice koriste umjesto sabirnica sa užetnim vodičima, vibracije cijevnih sabirnica čiji je uzrok vjetar trebaju se pažljivo analizirati. Pri tome je potrebno predvidjeti određene mjere za smanjenje vibracija cijevnih sabirnica.

2.2. Pojedinačna polja

Kada se podižu parametri postrojenja, potrebno je također zamijeniti i spojeve između dijelova postrojenja. Ukoliko je došlo samo do porasta nazivne struje, tada je zamjena spojeva jednostavna. Tako se npr. nekad mijenjaju bakreni spojni vodovi s aluminijskim vodičima iste jedinične mase, ali s većim dozvoljenim strujnim opterećenjem.

Ukoliko dolazi do porasta struja kratkih spojeva, moraju se izraditi odgovarajući proračuni ili ispitivanja kako bi se dokazala izdržljivost stezaljki u slučaju povećanih sila. Moguće je vršiti mjerenja sila koja naprežu priključnice aparata spojnim užetnim vodičima za vrijeme kratkog spoja. Ove sile su rezultat elektrodinamičkih sila između faza te između vodiča u snopu jedne faze. Ukoliko primjena užetnih vodiča ima za posljedicu prekoračenje dozvoljenih dinamičkih sila tada je potrebno primijeniti cijevne vodiče i pripadajući spojni pribor. Druga mogućnost je u korištenju dodatnog potpornog izolatora koji se montira između visokonaponskih aparata kako bi se smanjile dinamičke sile na aparate.

U slučaju primjene užetnih vodiča, smanjenje razmaka između vodiča i relociranje odstojnika može smanjiti sile. Pažnja se mora također posvetiti povećanim silama na čeličnu konstrukciju i na temelje.

Smanjenje razmaka između vodiča ima neke minimalne vrijednosti određene naponom korone.

Kada se koriste dugački spojni vodovi, npr. između sabirnica i ostalih dijelova postrojenja, sile se mogu smanjiti primjenom izolatorskih lanaca u V-spoju (ponekad i štapnih izolatora u V-spoju). To poboljšanje je rezultat uvođenja dodatne točke fiksiranja u spojeve.

3. Električni aparati

3.1. Prekidači

Ukoliko su prekidne struje prekidača nedovoljne za nove uvjete na mjestu ugradnje kao i u slučaju nezadovoljavanja nekih drugih karakteristika tada je potrebno izvršiti zamjenu prekidača. Ukoliko su bile takve okolnosti prije se ponekad mijenjalo prekidne komore ili pogonske mehanizme na postojećim prekidačima, ali takvo rješenje zahtjeva dosta vremena i rad u tvornici. Zbog toga se češće vrši zamjena prekidača, a stari prekidači se odvoze u tvornicu na remont i zamjenu pojedinih dijelova te dalje koriste u drugim postrojenjima.

Treba naglasiti da zamjena starijih prekidača zahtjeva analizu statičkih i dinamičkih naprezanja temelja kako bi se moglo zaključiti u svezi načina izvedbe zamjene prekidača, tj. da li adaptacija starih temelja ili njihovo vađenje i izgradnja novih temelja. Isto tako se visina i širina starih i novih prekidača razlikuju, a kako je često teško osigurati zahtijevani prostor za rad na prekidaču (definira ga proizvođač prekidača) to i zamjena prekidača nije tako jednostavna. Pri tome se mijenjaju i sile na priključnicama prekidača, ali i statička i dinamička opterećenja postolja i temelja prekidača.

Posebno pažljivo treba razmotriti promjenu mehaničkih sklopnih sila kod SF₆ prekidača za vrijeme procesa sklapanja (intenzitet i smjer djelovanja sila). Ove sile mogu rezultirati velikim opterećenjima i nedozvoljenim vibracijama nosive konstrukcije za vrijeme izvođenja sklopnih operacija.

U slučaju zamjene pneumatskih ili malouljnih prekidača sa SF₆ prekidačima treba kompletno zamijeniti i sustav nadzora odnosno upravljanja i zaštite. Tako npr. sustav motrenja (monitoring) SF₆ ima posebno značenje u specifičnim uvjetima. Modifikacija signalno-upravljačkih krugova može imati značajnu cijenu.

Posebno treba razmotriti utjecaj djelovanja potresa jer se taj utjecaj u slučaju starih prekidača nije uzimao u obzir.

3.2. Rastavljači

Ukoliko su nazivna trajna struja i kratkotrajna podnosiva struja rastavljača te vršna struja manja od izračunatih vrijednosti na mjestu ugradnje tada je potrebno izvršiti zamjenu kompletnog rastavljača. Pri tome treba uzeti u obzir činjenicu da ponekad rastavljači starije konstrukcije mogu imati određenu rezervu

u svezi svojeg naprezanja. U takvim slučajevima treba izvršiti kompletna ispitivanja čija cijena nije zanemariva.

Također je ponekad moguće, u slučaju rastavljača, da je dostatno izvršiti zamjenu samo strujnih puteva. U tom slučaju treba ili proračunima ili ispitivanjima dokazati da izolatori i nosiva konstrukcija može izdržati povećane sile.

Posebnu pozornost treba posvetiti sabirničkim rastavljačima u slučaju nekih posebnih pogonskih slučajeva jer tada nisu jedini kriterij nazivna trajna struja, kratkotrajno podnosiva struja i vršna struja za odluku o izboru izvedbe rastavljača. Sabirnički rastavljači moraju sklapati i struje neopterećenih sabirnica u slučaju više sustava sabirnica. To je slučaj u postrojenjima s više polja i kada su struje opterećenja polja približno jednake nazivnim strujama rastavljača. Kontrola tih komutacijskih struja moguća je uz primjenu specijalnih konstrukcija kontakata. Ponekad se koristi skuplje rješenje i to pogotovo u slučaju jako velikog broja polja, smanjenjem napona komutacije ugradnjom novog spojnog polja (drugog spojnog polja). U tom je slučaju razmak između pojedinih polja i spojnog polja manji te su niži i komutacijski naponi. U slučaju kada se postojeći rastavljači (za glavne i noževe za uzemljenje) opremljeni ručnim pogonom proizlazi da je optimalno rješenje u zamjeni ručnog pogona elektromotornim pogonom. To nije jeftino rješenje jer zahtjeva značajnu modifikaciju u svezi signalno-upravljačkog kabliranja, ali omogućava uvođenje u sustav daljinskog vođenja.

3.3. Zemljospojnici i uređaji za uzemljenje

U slučaju manjih struja kratkih spojeva i nižih naponskih razina postrojenja moguće je koristiti prijenosne uređaje s fleksibilnim bakrenim vodičima. Međutim, u slučaju većih struja kratkih spojeva to nije moguće. Općenito se može zaključiti da je primjena prijenosnih uređaja s fleksibilnim vodičima ograničena na struje kvara do maksimalno 31,5 kA.

Ukoliko se ne koriste prijenosni uređaji, tada se koriste zemljospojnici kao posebni aparati ili u sklopu rastavljača (tada se koriste noževi za uzemljenje). Pri tome treba predvidjeti temelje i čelične konstrukcije za zemljospojnike odnosno noževe za uzemljenje (i njihove elektromotorne pogone). U mnogo slučajeva treba izgraditi nove nosive konstrukcije. Isto tako treba predvidjeti i odgovarajuće signalno-upravljačke kabele i njihovo polaganje do ormara sekundarne opreme. Ukoliko su u postrojenju već montirani zemljospojnici, tada će u slučaju značajnog povećanja struja kvara biti, općenito, potrebno zamijeniti postojeće zemljospojnike novim aparatima odgovarajućih karakteristika. Kada se vrši zamjena postojećih zemljospojnika posebnu pažnju treba usmjeriti spojevima između zemljospojnika i sustava uzemljenja koji mora imati dovoljan presjek za podnošenje povećanih struja kao i raspodjeli struja kvara u spojnim vodovima i u glavnom uzemljivaču.

4. Ostalo

4.1. Vremena djelovanja zaštite

Kratkospojna opterećenja mogu se smanjiti skraćivanjem vremena djelovanja relejne zaštite. Na taj se način značajno smanjuju i termička opterećenja visokonaponske opreme i uzemljivačkog sustava.

4.2. Uzemljenje

Povećanje struja kratkih spojeva u transformatorskim stanicama značajno utječe i na sustav uzemljenja. Obvezno treba izvršiti kontrolu dijelova sustava uzemljenja u svezi zagrijavanja kod povećanih struja uz predviđeno vrijeme djelovanja zaštite. Ukoliko ne zadovoljavaju postojeći vodovi, tada je potrebno spojiti dodatne vodove za spojeve s glavnom uzemljivačkom mrežom odnosno položiti nove vodove u zemlju. Zbog sigurnosti ljudi u transformatorskoj stanici, potrebno je izvršiti kontrolu napona dodira i napona koraka u slučaju povećanih struja kratkog spoja.

4.3. Prenaponi

Za vrijeme kratkog spoja u transformatorskoj stanici pojavljuju se inducirani prenaponi u kabelima koji su položeni u zemlju. Ovi prenaponi mogu uzrokovati kvarove u sekundarnoj opremi. U slučaju velikih

struja kratkih spojeva, visoki su i ovi prenaponi. Primjena oklopljenih kabela i uzemljenje oklopa kabela na obje strane kabela značajno smanjuje vjerojatnost nastanka ovakvih kvarova.

U slučaju potrebe može se uz signalno-upravljačke kabele položiti paralelno uzemljivačko uže (ili traka) koja je tada sastavni dio sustava uzemljenja.

5. Primjeri dogradnje postojećih transformatorskih stanica

U svijetu je napravljeno mnogo rekonstrukcija dogradnje postojećih transformatorskih stanica. Često je vršena zamjena prekidača, rastavljača, mjernih transformatora, odvodnika prenapona dok je zamjena sabirničkih sustava rjeđa zbog toga što su takvi zahvati zamjena sabirničkih sustava vrlo kompleksni, teški za izvođenje i skupi.

Zbog toga je bitno kod buduće izrade projekata uzeti u obzir mogućnost izvođenja rekonstrukcije i/ili dogradnje postrojenja.

Ukoliko je izvedba postrojenja takva da zahtjeva dulji period s prekidom napajanja tada je ekonomično rješenje da se izvrši projektiranje na takav način da ne bude potrebno vršiti rekonstrukciju sabirničkog sustava za vrijeme životnog vijeka transformatorske stanice.

Zbog toga je potrebno rekonstrukciju sabirničkog sustava, iako je to početno skuplje rješenje, izvesti na taj način da se sabirnički sustav dimenzionira za veće struje kratkog spoja nego ostali dijelovi postrojenja.

Ukoliko se ipak donese odluka o izgradnji sabirničkog sustava u prvoj etapi izgradnji sa skromnijim karakteristikama, pri čemu se predviđa povećanje karakteristika sabirničkog sustava u budućnosti, tada treba dispozicija biti predviđena da se takav zahvat može izvesti bez većih problema. Pri tome treba predvidjeti barem dvostruki sustav glavnih sabirnica (s ili bez rastavljača za premoštenje prekidača) ili takvo dispozicijsko rješenje da je moguće zaobići prekidač u pojedinim poljima u slučaju potrebe. Takve zahtjeve u potpunosti zadovoljavaju sheme s dvostrukim sustavom glavnih sabirnica i pomoćnim sabirnicama ili shema s prekidačem i pol po polju (1 ½ prekidač po polju nije udomaćeno tehničko rješenje u Europi, izuzev Velike Britanije).

Zamjena aparata je tada olakšana i to je ekonomično rješenje ukoliko se u početku koriste neki od starih (postojećih) aparata. Dimenzioniranje aparata i spojeva između aparata zavisi o željama i mogućnostima investitora u trenutku donošenja odluke o rekonstrukciji stare transformatorske stanice.

U daljnjem tekstu razmatrat će se tri projekta rekonstrukcije postojećih transformatorskih stanica prema dostupnoj literaturi.

U prvom slučaju razmatra se postrojenje s užetnim vodičima koje se rekonstruira, a dodaje se novi sabirnički sustav sa cijevnim sabirnicama.

Drugi slučaj opisuje zamjenu sabirničkog sustava izvedenog s užetnim vodičima s novim sustavom sa cijevnim sabirnicama.

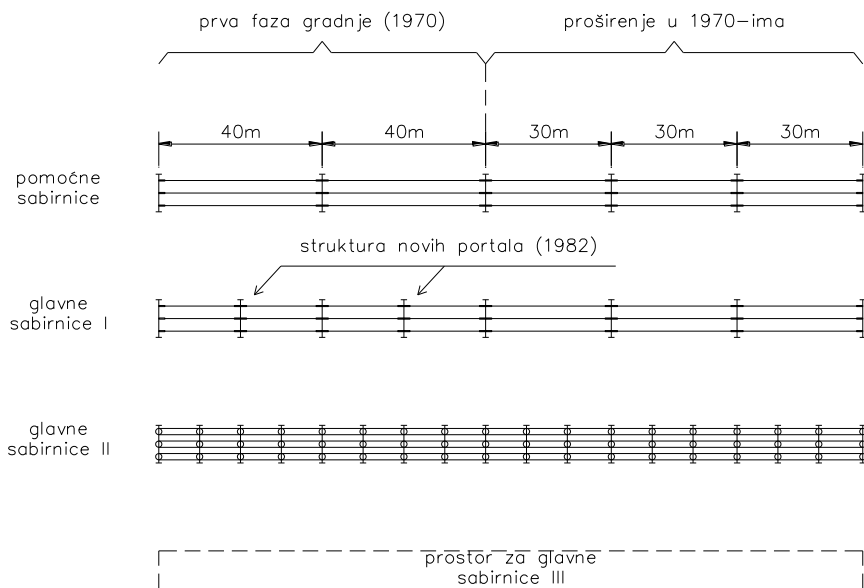
U trećem slučaju predviđa se dogradnja trećeg sabirničkog sustava u izvedbi metalom oklopljenog i plinom SF₆ izoliranog sabirničkog sustava.

5.1. Rekonstrukcija 1 - rekonstrukcija sabirničkog sustava s užetnim vodičima uz dodavanje novog sabirničkog sustava sa cijevnim sabirnicama

TS 400/110 kV Ulvila, prema [1], u Finskoj je izrađena 1970. godine. Osnovno dispozicijsko rješenje 110 kV postrojenja sadrži jedan sustav glavnih sabirnica i pomoćne sabirnice te slobodni prostor za eventualnu ugradnju u budućnosti još dva sustava glavnih sabirnica. Nazivna struja sabirnica je 2000 A, a kratkospojna čvrstoća 20 kA/1s. Sabirnice su izvedene iz užeta i raspon zavješanja sabirnica iznosi 40 m (dva takva raspona su u početku izgradnje bila izvedena). Prekidna struja prekidača je bila 20 kA, a kratkotrajna podnosiva struja rastavljača i strujnih transformatora 31,5 kA/1s.

Tijekom sedamdesetih godina 20. stoljeća transformatorska stanica Ulvila je proširena puno više nego što se to ranije očekivalo zbog dvije velike transformatorske stanice koje su izgrađene u blizini.

Za vrijeme proširenja 110 kV postrojenja izabrana je duljina raspona od 30m (slika 1) i to tri takva raspona sabirnica su izvedena. Kratkotrajna podnosiva struja tada ugrađenih rastavljača i strujnih transformatora je 40 kA/1s. Međutim, prekidna struja ugrađenih prekidača bila je 20 kA.



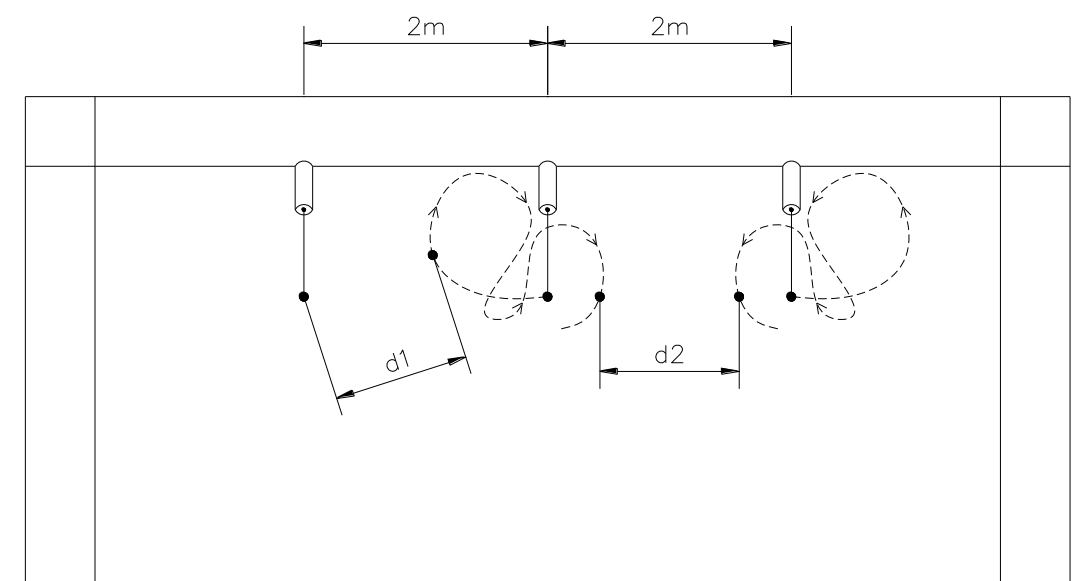
Slika 1. Principni prikaz dispozicije 110 kV sabirničkog sustava TS Ulvila [1]

5.1.1. Planiranje rekonstrukcije

Opterećenja vodova priključenih na 110 kV postrojenje u TS Ulvila, prema [1], je stalno raslo tako da je bilo potrebno dodati drugi transformator 400/110 kV, 400 MVA već 1982. godine. Tada je bilo neophodno dograditi i drugi sustav glavnih sabirnica 110 kV. One su izvedene sa cijevnim vodičima. Nazivna struja ovih sabirnica je 4000 A, a kratkospojna čvrstoća 40 kA/1s (slika 1).

Zbog veće pouzdanosti rada i većeg stupnja neprekinutosti napajanja, 110 kV vodna polja su podijeljena između dva sustava glavnih sabirnica koje su međusobno spojene spojnim poljem. Po jedan transformator 400/110 kV je spojen na svaki sustav glavnih sabirnica, a u 110 kV postrojenju postoji zaštita sabirnica i zaštita od otkaza prekidača. Zbog raznolikosti tehničkih rješenja primarne opreme iznosi kratkospojna čvrstoća čitavog 110 kV postrojenja 31,5kA.

Provedeni proračuni pokazali su da je vrlo teško postići kratkospojnu čvrstoću s užetnim vodičima za struju troleznog kvara od 40 kA te je optimalno rješenje u podizanju podnosive čvrstoće sabirničkog sustava s užetnim vodičima na 31,5 kA. Razmak između faza sabirničkog sustava je 2m (slika 2), ali je tada potrebno razmotriti razne parametre kako bi se mogla kritički ocijeniti takvo rješenje s aspekta kratkospojne čvrstoće.



Slika 2. Otkloni vodiča za vrijeme dvopolnog kratkog spoja [1]

Za vrijeme otklona vodiča sabirnica i spojeva kod dvopolnog kratkog spoja na vodnim poljima, vrlo blizu ograde postrojenja, razmaci na strani sabirnica prekidača mogu ostati veliki, tako da nisu mogući preskoci između faza ili između faza i uzemljenih dijelova. Može se pretpostaviti da će se kvar očistiti djelovanjem glavne zaštite (npr. distantne zaštite) te utjecaj automatskog ponovnog uklopa s idućim čišćenjem kvara ne treba uzimati u obzir prilikom proračuna.

Proračuni za kontrolu otklona uz navedene ulazne podatke su izvedeni pomoću računalnog programa, a rezultati su dati u Tablici 1.

Tablica 1 Otkloni vodiča sabirnica za vrijeme dvopolnog kratkog spoja [1]

Dužina raspona sabirnica	Maksimalni početni provjes	Razmak faza (normalni)	Maksimalni horizontalni otklon (amplituda) faznih vodiča pojedinačno/zajedno	Maksimalni fazni razmak za vrijeme dvopolnog kratkog spoja d1/d2 (vidi sliku 2)
40 m	1,94 m	2,0 m	1,77m/1,43 m	0,23 m/ -
30 m	1,20 m	2,0 m	1,25 m/0,53 m	0,75 m/0,94 m
20 m	0,66 m	2,0 m	0,78 m/0,22 m	1,22 m/1,56 m

U skladu s navedenim rezultatima proračuna, raspon od 40 m treba biti podijeljen na dva raspona od po 20 m uz dodatnu nosivu portalnu konstrukciju u sredini postojećeg raspona (slika 1). Otkloni vodiča se također mogu smanjiti povećavajući zatezanje vodiča, ali to nije moguće jer bi mehaničko naprezanje postojeće nosive portalne konstrukcije bilo preveliko. Otkloni spojnih mostova sabirnica su također bili izračunati te je zaključeno da treba montirati dodatne izolatore. Rekonstrukcija postojećih pomoćnih sabirnica nije bila potrebna jer je mehanička čvrstoća postojećih nosivih portala konstrukcija dovoljna, a kako su pomoćne sabirnice na strani vodnih polja od spojnog polja to amplitude otklona vodiča nisu bitne.

U slučaju kada bi amplitude bile velike tako da bi se preskoci mogli dogoditi, tada u slučaju kvara na strani voda jedina posljedica može biti da se automatski ponovi uklop neće uspješno obaviti.

5.1.2. Realizacija rekonstrukcije

Svi prekidači nazivne prekidne struje 20 kA zamijenjeni su prekidačima nazivne prekidne struje 31,5 kA. To nije zahtijevalo nikakve prekide u radu jer su bile na raspolaganju pomoćne sabirnice. Za rekonstrukciju glavnih sabirnica trebao je prekid rada u trajanju 60 sati za čitavom 110 kV postrojenju. Taj prekid je bio u vrijeme minimalnog opterećenja kada su svi potrošači bili opskrbljeni električnom energijom preko rezervnih veza. Prije toga razdoblja bili su izvedeni svi temelji, sve čelične konstrukcije bile su spojene u cjeline na lokaciji i svi spojni vodovi su bili pripremljeni u, što je moguće, većem stupnju gotovosti.

Za vrijeme prekida rada 110 kV postrojenja bili su izvršeni sljedeći radovi:

- podizanje dvije portalne konstrukcije;
- rezanje postojećih sabirničkih vodiča glavnih sabirnica na dvije posebne cjeline i njihovo zavješanje na nove portale;
- montaža novih 18 potpornih izolatora na prečke portala i fiksiranje spojnih mostova na potporne izolatore.

U budućnosti moguća je potreba za ugradnju opreme i sabirnica za 40 kA. Tada je najpraktičnije rješenje izgraditi novi treći sustav glavnih sabirnica za 40 kA te izvršiti rekonstrukciju postojećih sabirničkih sustava na način da se npr. sustav 1 glavnih sabirnica ostavi izvan pogona ili kao rezerva.

5.2. Rekonstrukcija 2 - zamjenom sabirničkih sustava sa užetnim sabirnicama sa cijevnim sabirnicama

Razmatra se jedna od dvije glavne transformatorske stanice za napajanje šireg područja Dortmunda prema [1]. U transformatorskoj stanici postoji 20 vodnih polja 110 kV. Također postoje dva spojna transformatora nazivnih snaga 400 MVA svaki i elektrane ukupnog proizvodnog kapaciteta 250 MW koje su spojene na sabirnice u transformatorskoj stanici.

Povećanje struja kratkih spojeva u mreži i povećanje nazivnih struja uzrokovalo je potrebu za rekonstrukcijom transformatorske stanice:

- od 20 kA na 40 kA u svezi podnosivih struja kratkih spojeva;
- od 1,25 kV na 4 kA u svezi nazivnih struja sabirnica;
- od 0,6 kA na 2,5 kA u svezi nazivnih struja vodnih polja.

Razmatrane su dvije varijante rekonstrukcije postojeće transformatorske stanice:

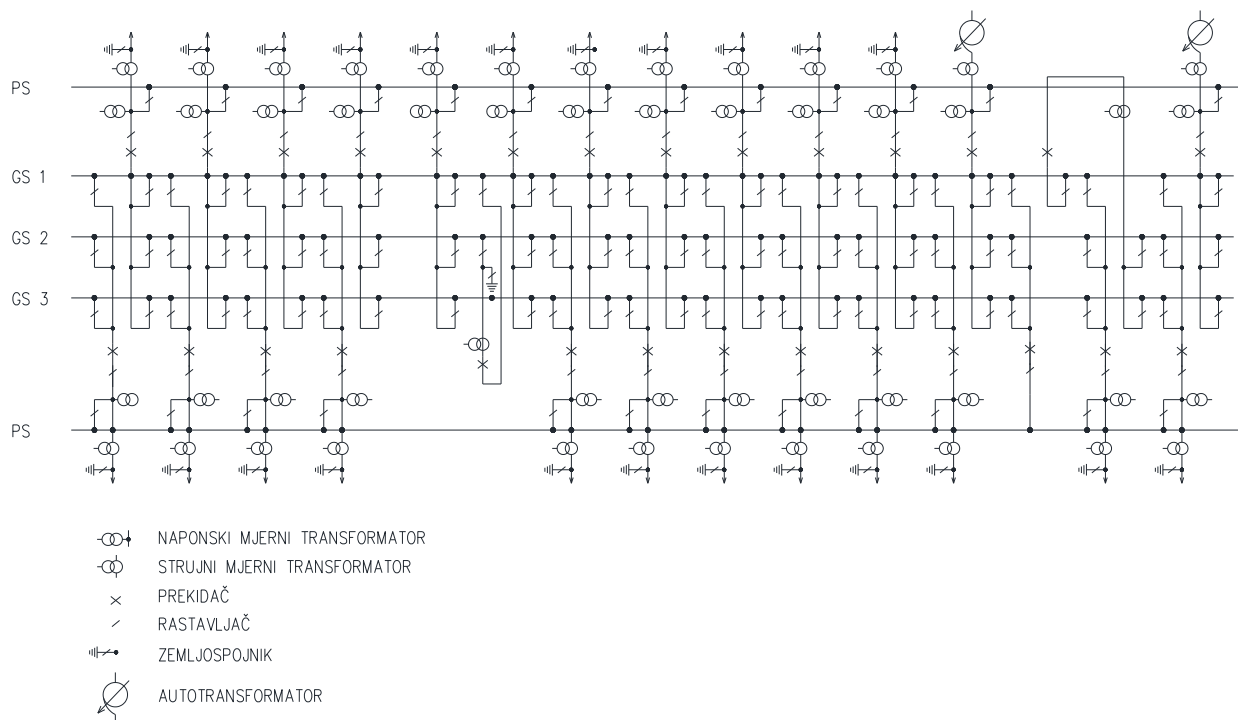
1. Rekonstrukcija sabirnica primjenom užetnih sabirnica.
2. Rekonstrukcija sabirnica zamjenom užetnih vodiča s cijevnim vodičima.

Primjena užetnih sabirnica ima osnovnu prednost jer je osnovna shema i dispozicijsko zadržano. Proračuni nosivih konstrukcija i temelja pokazali su da osnovni dijelovi nosive konstrukcije i temelja ne mogu izdržati povećane statičke i dinamičke sile kada bi došlo do zamjene postojećih užeta u snopu AlČ2x240/40mm² s novim užetima u snopu ALČ 2x560/50mm².

Alternativno rješenje je u zamjeni užeta u snopu s novim cijevnim sabirnicama što rezultira relativno malim silama u uzdužnom (longitudinalnom) smjeru sabirnica. Pri tome su horizontalne sile porasle (sile vjetra posebno) što sve zajedno rezultira zaključkom da se postojeće nosive konstrukcije i temelji mogu zadržati bez većih pojačanja. Izabrane su cijevi iz E-AlMg Si 0,5F22 legure vanjskog promjera 250 mm i debljine stjenke 6mm. Uzimajući u obzir sile kratkog spoja, sile vjetra i sile uslijed određene debljine leda, može se zaključiti da maksimalni raspon za odabrane cijevne vodiče iznosi 22 m. Postojećih 6 raspona s užetnim vodičima ima dužine 33 m i 44 m te je potrebno izraditi u sredini između pojedinih postojećih portala nova postolja za nošenje cijevnih vodiča.

Usporedbom s varijantom 1 (s novim užetnim vodičima) može se zaključiti da varijanta 2 ima niz prednosti, osim niže cijene, a najvažnija je mogućnost izvođenja radova na manjem prostoru postrojenja koji mora biti izvan pogona u isto vrijeme za vrijeme izvođenja radova.

Slika 3. prikazuje izvedbu rekonstrukcije prema varijanti 2.



Slika 3. Postrojenje 110 kV, tri sustava glavnih sabirnica i pomoćne sabirnice, 20 vodnih polja, cijevne sabirnice za 4000A nazivne struje i 40 kA struje kratkog spoja [1]

S ciljem smanjenja vremena prekida rada i olakšanog izvođenja radova koriste se 110 kV kabeli za vrijeme provizornog napajanja pri čemu prvenstveno služe za spajanje dijelova postrojenja kada su isključene pojedine sekcije 110 kV postrojenja. Pri tome je od vitalne važnosti bila izgradnja trećeg sustava glavnih sabirnica koji se koristio za premoštenje dijelova sekcija sabirnica za vrijeme zamjene postojećih užetnih sabirnica.

5.3. Rekonstrukcija 3 - dogradnja metalom oklopljenom i plinom SF₆ izoliranog sabirničkog sustava

U slučaju zamjene sabirnica i povećanja njenih osnovnih parametara kao i potrebe za proširenjem konvencionalnih postrojenja sa zračnom izolacijom s dodatnim sustavom sabirnica, pokazuje se da je u nekim slučajevima prednost u primjeni metalom oklopljenih i plinom SF₆ izoliranih sabirnica prema [1]. Osnovna prednost je u malim pogonskim problemima za vrijeme izvođenja rekonstrukcije na malom potrebnom prostoru, te posebno u slučaju postrojenja s odvodnim poljima raspoređenim u dva smjera, a znatno manjim potrebnim zahvatima za vrijeme rekonstrukcije.

Kao primjer uzet će se proširenje 420 kV postrojenja sa zračnom izolacijom (AIS izvedbe) koji ima rasplet vodova u dva smjera u transformatorskoj stanici Laufenberg (Švicarska) za treći sustav glavnih sabirnica sa SF₆ izolacijom za nazivnu struju 4000 A i kratkotrajnu podnosivu struju 63 kA prema [1].

Uzrok proširenja ovog 420 kV postrojenja je potreba za smanjenjem struja kratkog spoja u mreži sekcioniranjem sabirničkog sustava u ovoj transformatorskoj stanici koja je čvorna stanica za povezivanje mreža Švicarske, Njemačke i Francuske. U slučaju da je bio na raspolaganju samo jedan sustav sabirnica to bi značilo struju tropskog kratkog spoja od čak 70 kA. Na opisani način dogradnje smanjena je struja kratkog spoja u navedenoj transformatorskoj stanici i u okolnoj mreži na maksimalnu struju kratkog spoja od 63 kA.

Postrojenje 420 kV u transformatorskoj stanici Laufenberg ima sabirnice iznad i to u izvedbi s miješanim fazama. Dodatni treći sustav glavnih sabirnica je u izvedbi jednopolnih metalom oklopljenih i plinom SF₆ izoliranih sabirnica s integriranim izlaznim rastavljačima i zemljospojnicima. Sabirnice su podijeljene u 6 sekcija, dužine oko 65 m svaka, s uzdužnim dilatatorima. Pomak sabirnica u najnepovoljnijim pogonskim uvjetima uslijed termičke dilatacije limitiran je na +0,1 m ugradnjom odgovarajućih kompenzatora koji reduciraju uzdužne sile uslijed termičke dilatacije. Pri tome kompenzatori služe i za smanjenje montažnih tolerancija koje su uvijek realna situacija.

Kružne struje inducirane u oklopu uslijed protjecanja pogonskih struja kompenziraju se po sekcijama sabirnicama određenim prespajanjima kako bi se izbjegli nedopušteni dodirni naponi i naponi na površini oklopa. Posebna pozornost je posvećena prenaponskoj zaštiti ugradnjom dodatnih odvodnika prenapona na oba kraja metalom oklopljenih i plinom SF₆ izoliranih sabirnica. Planira se u budućnosti ugradnja i četvrtog sustava glavnih sabirnica.

5. LITERATURA

- [1] Cigre Working Group 13.09, „User Guide for the Application of Monitoring and Diagnostic Techniques for Switching Equipment for Rated Voltages of 72,5 kV and Above“, Number 167, August 2000.
- [2] Cigre Study Committee B5, „The Automation of New and Existing Substations: Why and How“, August 2003.
- [3] Cigre Working Group A3.06, „Final Report on the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment, Part 2 – Reliability of High Voltage SF₆ Circuit Breakers“, CIGRE Technical Brochure, Number 510., 2012
- [4] Cigre Working Group A3.06, „Final Report on the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment, Part 1 – Summary and General Matters“, CIGRE Technical Brochure, Number 509., 2012.
- [5] Cigre Working Group A3.06, „Final Report on the 2004-2007 International Enquiry on Reliability of High Voltage Equipment, Part 3 – Disconnectors and earthing switches“, CIGRE Technical Brochure, Number 511., 2012.
- [6] G. Mazza, R. Michaca, „The First International Enquiry on Circuit-breaker Failures and Defect Service“, Electra, Number 79., 1981.
- [7] Cigre Working Group 13.06, „Final Report on the Second International Enquiry on High Voltage Circuit-breaker Failures and Defect Service“, CIGRE Technical Brochure, Number 83., 1994.