

Ivica Petrović
HEP- Prijenos d.o.o. Prijenosno područje Osijek
Krešimir Tačković
HEP- Distribucija d.o.o. D.P. "Elektroslavonija" Osijek
Hrvoje Glavaš
Elektrotehnički fakultet Osijek

ANALIZA MOGUĆNOSTI POVEĆANJA PRIJENOSNE MOĆI EES-A U UVJETIMA SLOBODNOG TRŽIŠTA

SAŽETAK

Tema rada je analiza pojedinih načina povećanja prijenosne moći u elektroenergetskim sustavima koji rade bliže granica pogona. Siguran rad EES-a zahtjeva da su, nepoznanice u sustavu, tokovi snaga i naponi unutar dozvoljenih granica u normalnom pogonu kao i prilikom nastupa nepredviđenih događaja. Vođenje EES-a s povećanim brojem interkonekcija i deregulacijom prijenosnog sustava postaje sve složenije. Ograničenja prijenosnog sustava potrebno je poznavati i kontrolirati radi osiguranja pouzdanosti. Neuvažavanje ograničenja može dovesti do narušavanja rad tržišta električne energije i prekida opskrbe.

Ključne riječi: prijenosna moć, sigurnost mreže, proširenje granica pogona, upravljanje prijenosom

ANALYSIS OF INCREASE ELECTRICITY NETWORK TRANSMISSION CAPACITIES IN OPEN MARKET

SUMMARY

This paper deals with analysis of particular ways to increase transmission capacity in power systems which operates close to the operating limits. Safe operation of power systems demands the variables in the systems, such as power flows and voltages, within specified limits during normal operation as well as during the unexpected events. Control of power systems with increasing number of interconnections and deregulation of transmission system becomes increasingly complicated. There is a need to acknowledge and control the limits of transmission system in order to ensure the reliability. Disregarding the limits can lead to compromising of the power market operation and to the supply interruptions.

Keywords: transmission capacity, network safety, expanding the operational boundaries, transmission control

1. UVOD

U ovom radu na općeniti način prikazan je pristup određivanju prijenosne moći te načini prepoznavanja kritičnih uskih grla u prijenosnim mrežama koji se u današnje doba koristi. Prije rješavanja problema prepoznavanja i upravljanja zagušenjem usklađene su definicije koje se odnose na prijenosnu moć u uvjetima slobodnog tržišta električnom energijom.

U radu analizirano je određivanje i alociranje prijenosne moći. Objašnjene su definicije različitih termina vezanih uz prijenosnu moć te uvjeti njihovog korištenja. Razmotreni su tokovi snaga kroz prijenosnu mrežu, povezanost ekonomike tržišta i zagušenja te osnovna pitanja koja je potrebno riješiti u problemu upravljanja prijenosom.

Elektroprivrede u dereguliranom tržištu imaju trend smanjenja rezervne margine sigurnosti čime se sustav dovodi u pogon koji je znatno bliže rubnim uvjetima a time upravljanje zagušenjima dobiva veći značaj. Naime, potrebno je prepoznati mjesta na kojima se javljaju zagušenja te ih pogonskim djelovanjima izbjeći ili ublažiti.

2. ANALIZA PRIJENOSNE MOĆI

2.1.1. Temeljni ciljevi u analizi prijenosne moći

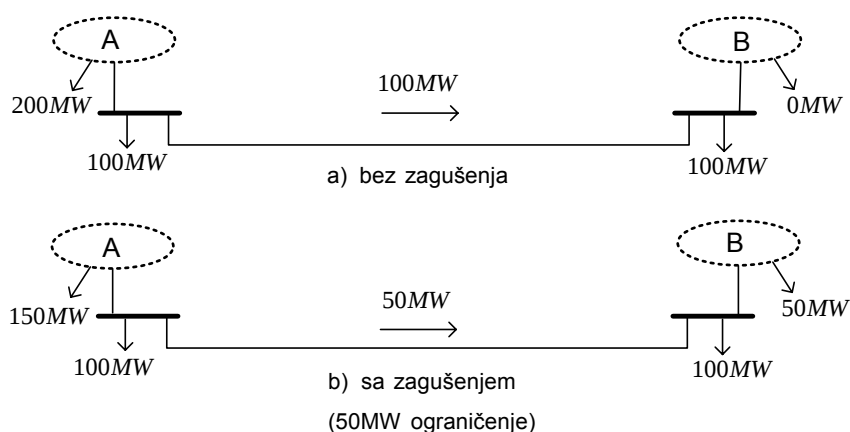
Liberalizacija tržišta električne energije uzrokovala je povećano zanimanje za poznavanjem prijenosne moći. Zagušenja u mreži javljaju se kako u međudržavnom prijenosu tako i unutar nacionalnih prijenosnih mreža.

Poveznice između sustava su građene s namjerom postizanja veće pouzdanosti i sigurnosti u slučajevima poremećaja. Stoga je pojava ograničenja vjerojatnija na međudržavnim i međuregionalnim poveznicama.

Do zagušenja dolazi zbog toga što u određenom vremenu potražnja za prijenosom kroz neku poveznicu mreže premašuje prijenosnu moć, a procjenjuje se sigurnost prijenosnog sustava i ukoliko se otkriju zagušenja u mreži potiču protumjere kako bi isto otklonili.

Upravljanje zagušenjima stoga je upravljanje prijenosnim sustavom da se izbjegnu prijenosna ograničenja.

Razmatranjem slučaja u kojem su dvije zone jednog sustava spojene poveznicom sustava, slika 2.1., moguće je predložiti utjecaj zagušenja na tržište.



Slika 2.1. Sustav s dvije zone

Zagušenje je stvorilo neučinkovitost tržišta obzirom na optimalne troškove, čak i bez strateškog ponašanja generatora. Štoviše, zagušenje je također stvorilo tržišnu moć za generator B koji sada može povećati cijenu koliko želi budući da tereti moraju od njega kupiti 50 MW. U stvarnom EES-u, pojava uvjeta tržišne moći zbog zagušenja sasvim je realna

Među tipičnim protumjerama za otklanjanje zagušenja nalaze se:

- preraspodjela proizvodnje
- prilagodba topologije mreže ili
- uključanje zakretnih transformatora u mrežu.

Obzirom da uska grla nije moguće otkloniti u kratkoročnom periodu, postavljaju se pravila i procedure za alokaciju prijenosne moći u slučajevima njihove pojave.

Uska grla u prijenosnoj mreži dugoročno se mogu otkloniti:

- izvođenjem pojačanja u prijenosnoj mreži,
- izgradnjom novih i pojačanjem postojećih vodova i transformatora
- te ugradnjom regulatora tokova snaga.

2.1.2. Definicije i korištenje definicija prijenosne moći

Određivanje prijenosne moći važan je korak u primjeni postupaka alokacije prijenosne moći a ETSO (European transmission system operators) je razvio definicije za vrijednosti prijenosne moći. Definicije se koriste u svrhu proračuna prijenosne moći a odnose na slijedeće pojmove:

- Ukupna prijenosna moć (TTC)
- Ostatna prijenosna moć (NTC),
- Raspoloživa prijenosna moć (ATC),
- Margina pouzdanosti prijenosa (TRM), i
- Zabilježeni prijenosni tok (NTF).

ETSO u definicijama uvodi striktnu razliku između trgovinskih i fizikalnih vrijednosti. Stoga postoje dva skupa definicija od kojih se jedan odnosi na programirane vrijednosti, a drugi na fizičke tokove. Definicije koje se odnose na programirane vrijednosti su detaljno predstavljene.

Ukupna prijenosna moć (TTC) predstavlja najveću programiranu razmjenu između dva područja koja je sukladna standardima sigurnosti ukoliko su budući mrežni uvjeti te oblici proizvodnje i opterećenja poznati unaprijed.

Margina pouzdanosti prijenosa (TRM) predstavlja rezervu sigurnosti obzirom na neizvjesnosti u izračunatim TTC vrijednostima.

Pojava neizvjesnosti moguća je uz:

- Odstupanja fizičkih tokova tijekom pogona zbog regulacije snage i frekvencije ,
- Hitne razmjene obzirom na neočekivana stanja u realnom vremenu, i
- Nepreciznosti u mjerenjima i prikupljanju podataka.

Ostatna prijenosna moć (NTC) se definira kao veličina koja preostaje nakon što se od ukupne prijenosne moći (TTC) oduzme margina pouzdanosti prijenosa (TRM). NTC predstavlja najveću programiranu razmjenu između dva područja sukladnu standardima sigurnosti.

$$TTC - TRM = NTC \quad (2.1)$$

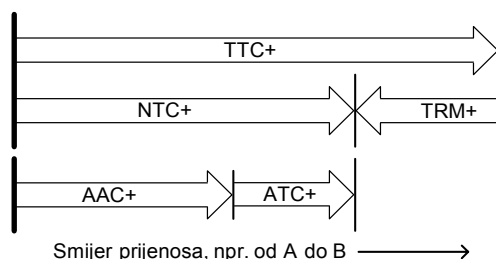
Obzirom na alokaciju, unutar svakog od vremenskih perioda izdvajaju se dvije dodatne definicije:

Prethodno alocirana moć (AAC) predstavlja ukupni iznos alociranih prava prijenosa neovisno o tome radi li se o fizikalnoj prijenosnoj moći poveznice ili programiranoj razmjeni ovisnoj o alokacijskoj metodi.

Raspoloživa prijenosna moć (ATC) predstavlja dio NTC vrijednosti koji preostaje raspoloživom za daljnju trgovačku djelatnost nakon svake faze izvođenja procedure alokacije. ATC je definiran slijedećom jednadžbom

$$ATC = NTC - AAC \quad (2.2)$$

Definicije prijenosne moći predočene su u grafičkom obliku na slici 2.2



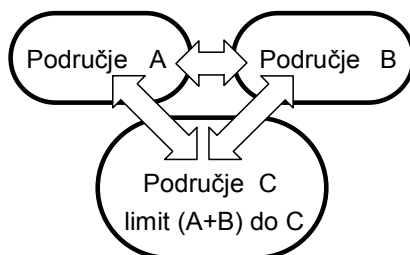
Slika 2.2 Definicije prijenosne moći

Definicije prijenosne moći odnose se na područje koje se proteže preko dva različita skupa scenarija i to u fazi planiranja, a zasnovan na očekivanju tipiziranih situacija u ees-u te u fazama alociranja.

2.2. Programirana razmjena i fizikalni tokovi

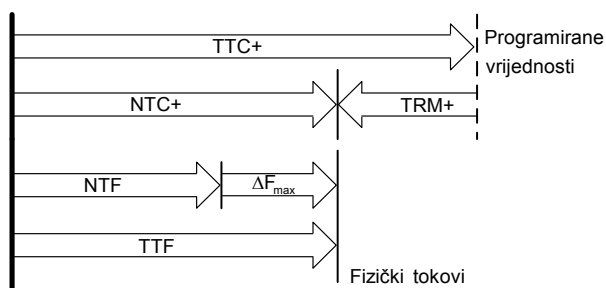
U petljastoj mreži tok snage kroz poveznice između dva susjedna područja A i B može biti predočen superponiranjem izravnog i paralelnog toka.

- Izravni tok odnosi se na razmjenu koja se izravno odvija između područja A i B.
- Paralelni tok odnosi se na sve ostale razmjene unutar petljaste mreže u ovisnosti o lokacijama proizvodnje i potrošnje. Stoga se paralelni tok javlja čak i kada se sve razmjene u međusobno povezanom sustavu dovedu na nultu razinu.



Slika 2.3 Međuviznosti NTC vrijednosti između dvije zone

NTC vrijednosti ne stvaraju osnovu za koordiniranu metodu alociranja međudržavnog trgovanja preko više granica unutar petljaste mreže. Koordinirani pristup potrebno je zasnovati na istim principima proračuna, ali je alociranje prijenosne moći potrebno utemeljiti na tokovima snaga, a ne izravno korištenjem bilateralnih NTC vrijednosti. Na slici 2.4 predočen je primjer odnosa između programiranih razmjena i fizikalnih tokova



Slika 2.4 Definicije prijenosne moći i fizikalni tokovi

U nastavku su objašnjeni pojmovi koji definiraju prijenosnu moć kao fizikalni tok.

Ukupni prijenosni tok (TTF) predstavlja ukupni fizikalni tok koji je pridružen programiranoj razmjeni iznosa TTC uz uvjet da niti jedna od preostalih razmjena nije izmijenjena obzirom na one koje već postoje u osnovnom slučaju.

TTF vrijednost se razdvaja na dva zasebna člana:

- Zabilježeni prijenosni tok (NTF) predstavlja fizikalni tok kroz poveznice između razmatranih područja koji je saglediv u osnovnom slučaju prije bilo koje promjene proizvodnje između područja
- Fizikalni tok $\Delta F_{\max}$ predstavlja fizički tok kroz poveznice između razmatranih područja koji je uzrokovan najvećom promjenom proizvodnje.

Stoga se ukupni prijenosni tok izražava jednadžbom:

$$TTF = NTF + \Delta F_{\max} \quad (2.3)$$

2.2.1. Određivanje NTC vrijednosti

U osnovi se NTC vrijednosti izračunavaju za svaku granicu između dvije zemlje. Za svaku granicu ili skup granica NTC vrijednosti pojedinačno određuju sve susjedne zemlje. Metoda koja se primjenjuje u svrhu određivanja NTC vrijednosti opisuje se slijedećom općenitom shemom:

- a) Pripremanje modela osnovnog slučaja mreže za tipiziranu situaciju tokova snaga.
- b) Obzirom na smjer prijenosa za kojeg se određuje prijenosna moć, proizvodnju treba povećavati u zemlji – izvoznici, a smanjivati u istim iznosima u zemlji – uvoznici.
- c) Stanje mreže dobiveno simulacijom provjeriti prema kriterijima sigurnosti.
- d) Ukoliko nema narušavanja granica sigurnosti, ponoviti korake b i c.
- e) Najveća ostvariva razmjena označava koliko snage može biti dodatno isporučeno u osnovnom scenariju.

2.2.2. Procjena sigurnosti mreže

U određivanju prijenosne moći primjenjuju se deterministički kriteriji sigurnosti poput (n-1) kriterija. Time su izvjesne kategorije kvarova električne opreme ili ispadi generatora određeni kao značajni za procjenu sigurnosti. Ukoliko određena veličina izlazi izvan određenog raspona vrijednosti u bilo kojem od slučajeva kvara, situacija prije kvara smatra se nesigurnom.

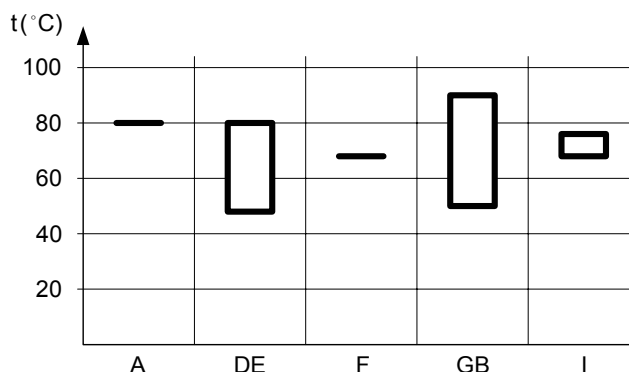
Primjena kriterija sigurnosti odvija se u dva koraka:

- Izvesti simulacije određenog broja događaja (npr. ispad dalekovoda uslijed groma ili ispad nekog generatora zbog kvara) te reakcija sustava.
- Provjeriti za svaki od simuliranih događaja vrijednosti značajnih fizikalnih veličina.

Izbor kvarova za procjenu sigurnosti zasniva se na razlici između čestih i rijetkih kvarova te između posljedica koje se mogu pojaviti.

- Za određeno unutarnje područje, razmatraju se barem jednostruki kvarovi odnosno (n-1) ispadi vodova te ispadi 380/220 kV transformatora.
- Jednostruke ispade generatora razmatra značajan broj operatora.
- Sabirničke kvarove razmatraju samo pojedini operatori.
- Termička granica prijenosa nadzemnih vodova dostiže se kada električna struja zagrije pojedini vodič na temperaturu iznad koje materijal vodiča biva bitno omekšan ili provjes vodiča povećan iznad najveće dozvoljene vrijednosti.
- Ostali elementi mreže poput mjernih transformatora ili rastavljača mogu nadalje ograničiti prijenosnu moć nekih elemenata.

Najviša dozvoljena kontinuirana temperatura vodiča se kreće od 50°C do 100°C. Za pojedinačni vod ograničenje temperature ovisi o različitim faktorima poput vrste materijala i starosti vodiča, naprezanju vodiča, geometriji voda, te standardima sigurnosti koji se odnose na provjes.



Slika 2.5. Granice najviših dopuštenih temperatura vodiča dalekovoda za pojedine zemlje

Neosporno je da određivanje prijenosne moći zahtijeva postavljanje pretpostavki o budućim uvjetima u sustavu. Izvori neizvjesnosti u sustavu jesu:

- Uvjeti u okolišu koji mogu uzrokovati prekoračenje dozvoljenog iznosa temperature vodiča.
- Neplanirani kvarovi elemenata mreže i generatora.
- Tromost upravljačkih mehanizama koji stvaraju neželjenu razmjenu.
- Neravnoteža snaga uslijed kolebanja tereta i grešaka u predviđanju.
- Greške u predviđanju raspodjele proizvodnje i potrošnje
- Neizvjesnost obzirom na topologiju mreže.
- Pogreške u mjerenjima.

2.2.3. Potražnja za prijenosnom moći

Prepoznavanja uskih grla u prijenosnim mrežama i ekonomsko vrednovanje protumjera za povećanje prijenosne moći predstavlja istraživanje potražnje za prijenosnom moći. Prijenosna moć se ne povećava po svaku cijenu, već u iznosu koji odgovara ravnoteži između troškova i dobiti. Iako je teško odrediti točku optimalne ravnoteže, očito je da potpuno uklanjanje zagušenja neće biti optimalno.

2.2.3.1. 'Mekane' mjere za povećanje prijenosne moći

Mekanim mjerama za povećanje prijenosne moći nazivaju se one mjere čija primjena stvara niske troškove. Istraživanja i preporuke koje se zasnivaju na primjeni mekanih mjera posljedica su tehničkih aspekata, regulatornih aspekata i zakonski odredbi.

Primjeri takvih zakonskih odredbi ili obvezujućih standarda su:

- Definicije najvećih temperatura vodiča i najmanjih udaljenosti između uzemljenih dijelova i vodiča kao i pretpostavke o parametrima okoliša, i
- Tehnički zahtjevi obzirom na redundanciju pri projektiranju mrežne opreme.

Stoga je pored objavljivanja NTC vrijednosti preporučljivo i objavljivanje matrice pretpostavljenih BCE vrijednosti čime bi se uvela jasnija usporedba tehničkih aspekata prijenosne moći među pojedinim sezonama ili godinama.

Ove se mjere dijele u dvije skupine;

- u prvoj su one s općom naravi obzirom na određivanje i alociranje prijenosne moći,
- u drugoj one čiji je cilj proširiti specifične granice pogona obzirom na tehnička pitanja.

2.2.3.1.1. 'Mekane mjere' opće naravi

- Koordiniranim alociranjem moći moguće je razmotriti kombinirani utjecaj tokova snaga između pojedinih zemalja ostavljajući stvarnu raspodjelu snaga na tržištu. Koordiniranim pristupom, tehnička ograničenja u mreži mogu se uračunati putem ograničenja fizikalnih tokova umjesto putem NTC vrijednosti. Takva ograničenja tokova mogu biti definirana neovisno o ekonomskim pretpostavkama. Time bi NTC vrijednosti postale manje značajne.
- Postupci upravljanja zagušenjem poput preraspodjele zapravo ne stvaraju dodatnu fizikalnu prijenosnu moć. Njihova glavna zadaća sastoji se u tome da se iniciraju protumjere. Neovisno o tome, ipak se radi o postupcima koji su korisni povećanju raspoložive prijenosne moći. Osnovu tih postupaka čini utjecaj učestalosti i intenziteta protumjera koje se žele primijeniti na razinu prijenosne moći koju je moguće učiniti raspoloživom sudionicima na tržištu prije iniciranja protumjera.

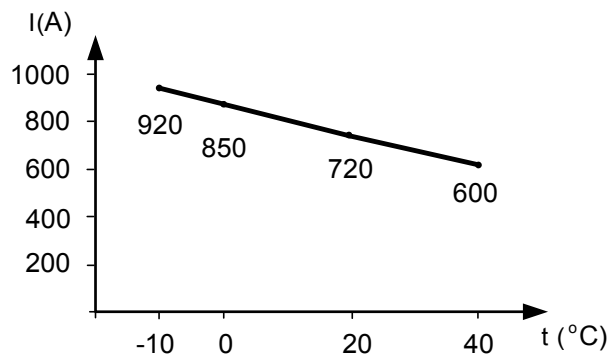
Dva primjera ocrtavaju način kako povećati fizikalnu veličina tokova snaga ukoliko postupci upravljanja zagušenjem postoje:

- Neizvjesnost u lokacijama izvora i ponora u mreži uobičajeno se razmatra u okviru postupka određivanja prijenosne moći korištenjem margina sigurnosti. Ukoliko je tijekom ove faze upravljanje zagušenjem ostvariva opcija reagiranja na povremene neželjene uvjete, margine prijenosne moći moguće je trajno umanjiti čime se dolazi do povećanja predvidive prijenosne moći.
 - Ako bi preraspodjela bila primijenjena kao brza i pouzdana mjera tijekom pogona, moguće ju je shvatiti kao korektivnu mjeru te time opravdati toleriranje kratkotrajnih preopterećenja kritičnih elemenata čime bi se smanjile margine moći određene prema (n-1) kriteriju.
- Bitan preduvjet pogona elektroenergetskog sustava predstavlja zahtjev za održavanjem određene razine sigurnosti mreže. Optimalan kriterij procjene sigurnosti predstavlja ukupni rizik pojave nesigurnih stanja u mreži. U tom slučaju rizik može biti definiran kao umnožak između vjerojatnosti pojave neophodne primjene neželjenih mjera i troška koji te mjere uzrokuju.
 - Pitanje koje se često postavlja u kontekstu određivanja i alociranja prijenosne moći odnosi se na moguću dobrobit dodatne transparentnosti koja se postiže povećanim zahtjevima za objavljivanjem od strane operatora sustava.

2.2.3.1.2. 'Mekane mjere' proširenja granica pogona

Sagledano teorijski, proširenje granica pogona uvijek će smanjiti kvalitetu opskrbe i povećati rizik. Međutim, zbog razlika u definiranju razina pouzdanosti moguće je opravdati izvođenje analiza primjenjivosti takvih mjera.

- Pretpostavke o uvjetima u okolišu i to temperatura i brzina vjetra imaju značajan utjecaj na graničnu snagu prijenosa nadzemnih vodova. Uvjeti okoliša u nekim slučajevima ograničavaju prijenosnu moć ili je možda proširuju. Odnos između nazivne snage prijenosa nadzemnog voda i pretpostavljene temperature okoliša moguće je izvesti na osnovi fizikalnih modela. U tipičnim slučajevima postoji praktički linearni odnos prema kojem se povećanje nazivne snage prijenosa voda u iznosu od 5% postiže sniženjem temperature za 5°C. Krećući od tipiziranih osnovnih uvjeta prema kojima je smjer vjetra okomit na os vodiča, a brzina vjetra cca 0.5 m/s, ovaj odnos rezultira povećanjem termičke granice u iznosu od 10% za povećanje brzine vjetra u iznosu od 0.5 m/s. Pri većim brzinama vjetra odnos postaje manje povoljan.
- Pri određivanju prijenosne moći ponekad se tolerira preopterećenje voda ili transformatora u određenom postotku (obično 10-20%) u kraćem periodu. Preopterećenje je prihvatljivo samo ukoliko se može ukloniti putem korektivnih mjera. Probabilistički pristup razmatranju neizvjesnosti pogona obuhvaća izbor kvarova za analizu prema kriteriju procjene sigurnosti obzirom na njihov pridruženi rizik (učestalost i ozbiljnost posljedica).



Slika 2.6. Ovisnost opterećenja 220 kV dalekovoda (vodič Al/Fe 360/57) o temperaturi okoline

2.2.3.2. Mjere izvođenja pojačanja u prijenosnoj mreži

Povećanje prijenosne moći moguće je postići mjerama izvođenja pojačanja u prijenosnoj mreži. Ove se mjere zasnivaju na investicijama u novu mrežnu opremu ili dogradnju postojeće.

U ovisnosti o uvjetima koji prevladavaju, prijenosnu moć voda moguće je povećati primjenom slijedećih mjera:

- Skraćenje izolatora (mjera koja se praktično ne koristi) ,
- Povećanje izdržljivosti vodiča obzirom na naprezanje i opteretivost (npr. "crno" užje),
- Povišenje stupova,
- Zamjena pod-dimenzionirane opreme rasklopnog postrojenja, i

Slijedeće vrste opreme mogu eventualno biti ugrađene u mrežu kako bi se utjecalo na raspodjelu tokova snaga:

- Zakretni transformatori koji upravljaju tokovima snaga,
- Serijski kondenzatori ili serijske prigušnice za prilagođavanje impedancije mrežnih grana,
- FACTS naprave za reguliranje napona te tokova djelatne i jalove snage korištenjem energetske elektronike.

Ekonomičnost mjera povećanja prijenosne moći zasniva se uglavnom na razmatranju pridruženih troškova i rezultirajući koristi.

U pogledu troškova, obračunavaju se tri vrste i to:

- Investicijski troškovi,
- Troškovi održavanja i
- Troškovi gubitaka.

Ukupnost svih navedenih troškova predstavlja najvažniji čimbenik za odabir mjera povećanja prijenosne moći odnosno uklanjanje ograničenja u prijenosnom sutavu.

3. ZAKLJUČAK

U ovom radu su razmotreni pristupi određivanju prijenosne moći te načini prepoznavanja kritičnih uskih grla u prijenosnim mrežama.

U petljastim mrežama, koncept prijenosne moći između područja ima nekoliko osjetnih ograničenja poput međuovisnosti između različitih područja. Istodobno se naglašava potreba za prethodnim proračunavanjem bilateralne međupodručne prijenosne moći u uvjetima prekograničnog trgovanja.

Prepoznat je značajan utjecaj koji pretpostavke o razmjeni imaju na određivanje prijenosne moći. Među operatorima sustava postoje značajne razlike u detaljima primijenjenih metoda određivanja prijenosne moći.

Sigurnost sustava ali i rad tržišta može se bitno narušiti ako se na odgovarajući način ne tretiraju ograničenja.

LITERATURA

- [1] H.-J. Haubrich et al, 'Analysis of Electricity Network Capacities and Identification of Congestion,' Final Report commissioned by the European Commission Directorate – General Energy and Transport, Institute of Power Systems and Power Economics (IAEW) of Aachen University of Technology (RWTH Aachen), Aachen, Germany, December 2001
- [2] W. Nicholson, Microeconomic Theory, Basic Principles and Extensions,' 6th edition, Forth Worth, TX, USA, Dryden, 1995
- [3] R. D. Christie, B. F. Wollenberg, I. Wangensteen, 'Transmission Management in the Deregulated Environment,' Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 2, Feb 2000, str.170-195
- [4] R. D. Christie, I. Wangensteen, 'The Energy Market in Norway and Sweden: Congestion Management,' IEEE Power Engineering Review, Vol. , No. , May 1998, str.61-195
- [5] ETSO, 'Position Paper on Congestion Management,' Proceedings of the Florence Forum, May 2001
- [6] ETSO, 'Definitions of Transfer Capacities in Liberalised Electricity Markets,' Final Report, April 2001.
- [7] ETSO, 'Co-ordinated Auctioning – A market-based method for transmission capacity allocation in meshed networks,' Final Report, April 2001