

9. savjetovanje HRO CIGRÉ
Cavtat, 8. - 12. studenoga 2009.

Zdravko Jadrijević
HEP ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split
zdravko.jadrijevic@hep.hr

Goran Majstrovic
Energetski institut Hrvoje Požar
gmajstro@eihp.hr

Slobodanka Jelena Cvjetković
Sveučilište u Splitu
sjcvjet@oss.unist.hr

UTJECAJ 110 kV MTU POSTROJENJA NA VOĐENJE ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

SAŽETAK

Sustav mrežnog tonfrekventnog upravljanja (MTU) predstavlja suvremenu i ekonomičnu vrstu kontrolnog sustava za velika područja tj. predstavlja informacijski sustav koji prenosi poruke iz središnjeg upravljačkog centra u sve točke elektroenergetske mreže. Sustav koristi postojeću visokonaponsku, sredjenaponsku i niskonaponsku mrežu kao medij za prijenos informacija, što ga čini vrlo prihvatljivim s ekonomskog aspekta, a tehnički jednostavno izvedivim.

Suvremena MTU postrojenja koja su izgrađena ili će se graditi u Hrvatskoj relativno su velike snage i priključuju se paralelno na 110 kV mrežu. Veza između odašiljačkog postrojenja i 110 kV mreže ostvaruje se pomoću veznog filtra koji ima višestruku ulogu. Njime se ostvaruje veza, odnosno propuštanje MTU signala prema mreži i istovremeno odvajanje naponskih potencijala elektroenergetske mreže i MTU odašiljača. Filtar čine kondenzatorske baterije i specijalni transformator – prigušnica velike impulsne snage. Karakter takve sprege je kapacitivan i MTU postrojenje pored osnovne namjene ponaša se i kao kompenzacijsko postrojenje odnosno izvor jalove energije. Budući da su ti kapacitivni izvori snage od nekoliko Mvar-a postavlja se pitanje je li kapacitivna uloga MTU sustava poželjna, problematična ili zanemariva? Može li se energija koja se daje u mrežu ekonomski vrednovati ili je kompenzacijsko postrojenje na 110 kV nepotrebno? Kako takvo postrojenje utječe na regulaciju napona u mreži? Modeliranjem realnog postrojenja u realnoj mreži te promatranjem njegova utjecaja nastojat će se dati odgovor na gore postavljena pitanja.

Ključne riječi: MTU, paralelni filter, kompenzacija jalove snage, regulacija napona, realna mreža

IMPACT OF 110 kV RIPPLE CONTROL FACILITY ON THE POWER SYSTEM CONTROL

SUMMARY

Ripple control system assumes modern and economic control system for large areas. In other words, it is information system for data transfer between central dispatching centre and all other power network nodes. This system uses existing HV, MV and LV network as the data transfer media. Accordingly, it is economically acceptable and technically feasible solution.

Modern ripple control facilities that are constructed in Croatia are of relatively large capacity and are connected to the 110 kV network. The connection between emitting facility and 110 kV network is realized by the parallel coupling filter with its multiple role. It is used as the connection and propagation of the ripple control signal with simultaneous disconnection of voltage potentials and ripple control emitter. This filter consists of capacitor banks and special transformer – coil with large impulse power. It is having capacitive character and ripple control system can have, besides its nominal, basic function, compensating function as reactive power source. Since these capacitor banks are of several Mvars, it is important to find out its complete role in the system. Can it be economically evaluated or compensating device is useless? Real network modelling given in this paper can give some answers.

Key words: ripple control, parallel coupling filter, reactive power compensation, voltage regulation, real network

1. UVOD

Sustav mrežnog tonfrekventnog upravljanja koristi postojeću elektroenergetsku mrežu kao medij za prijenos informacija što ga čini vrlo prihvatljivim sa ekonomskog gledišta, a ujedno je tehnički jednostavno izvediv. Suvremeni sustavi tonfrekventnog upravljanja pored osnovne funkcije masovnog upravljanja tarifama, javnom rasvjetom i potrošnjom imaju razvijenu tehnologiju upravljanja individualnim uređajima sa preko 16 milijuna mogućih adresa te daljinskog parametriranja prijemnika. S obzirom da se koriste niske upravljačke frekvencije, blizu mrežne frekvencije, signal se lako prenosi u sve točke mreže. Ipak, na tim frekvencijama impedancija mreže je vrlo mala te stoga nema ekonomskog opravdanja izvoditi dvosmjernu komunikaciju odnosno sustav je jednosmjernan – od strane odašiljača prema prijemnicima.

Suvremena MTU postrojenja kakva su izgrađena ili će se izgraditi u Hrvatskoj najčešće se izvode na 110 kV naponu te se na mrežu priključuju paralelno [7], [11]. Veza između odašiljačkog postrojenja i elektroenergetske mreže ostvarena je pomoću veznog filtra koji se sastoji od kondenzatorskih baterija, transformatora specijalne izvedbe te drugih RLC elemenata potrebnih za ugađanje audio frekvencije.

Karakter takvog MTU postrojenja je kapacitivan (da se radi o serijskoj vezi bio bi induktivan), a vrijednosti takve kompenzacije iznose po nekoliko Mvar-a. MTU postrojenje dnevno pošalje nekoliko desetaka poruka odabrane audio frekvencije, trajanje takvih poruka iznosi nekoliko sekundi, a razina utiskivanja iznosi oko 2% nazivnog napona te će se stoga zanemariti djelovanje takvih signala na vođenje elektroenergetskog sustava. U ovom radu neće se razmatrati učinak poruka MTU sustava kao što su uključivanje više/nije tarife, upravljanje javnom rasvjetom ili potrošnjom i drugo.

Poruke se relativno rijetko šalju u mrežu među ostalim i zato što suvremeni prijemnici mogu od sustava primiti parametarske poruke te samostalno odrađivati unaprijed zadane funkcije, a od sustava eventualno povremeno dobiju informaciju o točnom vremenu ili određenu neuobičajenu izvršnu naredbu.

Ipak, sustav je trajno priključen na 110 kV mrežu te se, energetske gledano, može promatrati kao kompenzacijsko postrojenje. Na primjeru postrojenja u 110 kV-nom rasklopištu Vrboran (Split) vidljivo je da se radi o kapacitivnom teretu snage 6,8 Mvar. Kako je 110 kV mreža uglavnom induktivnog karaktera, onda bi takvo postrojenje u pozitivnom smislu trebalo utjecati na preraspodjelu tokova snaga. Ipak, moguć je i negativni utjecaj na regulaciju napona u mreži, pogotovo što se radi o pasivnoj kompenzaciji pa se uslijed smanjenja opterećenja u mreži i povećanja napona povećava i kapacitet kondenzatorskih baterija te time dodatno pogoršavaju naponske prilike.

Pod vođenjem elektroenergetskog sustava, u smislu ovog rada, razmatrat će se regulacija napona i jalove snage iako se u obzir mogu uzeti i drugi elementi vođenja, što nije moguće kvalitetno obraditi u predviđenom prostoru za ovaj rad.

2. OPĆENITO O SUSTAVU MREŽNOG TONFREKVENTNOG UPRAVLJANJA

Mrežno tonfrekventno upravljanje (MTU) rašireni je način korištenja elektroenergetske mreže za potrebe jednosmjernog upravljanja. Nova generacija MTU sustava omogućava korištenje velikog broja novih funkcija, a novi način adresiranja nudi gotovo neiscrpne mogućnosti. Elektroenergetska mreža građena je za prijenos energije frekvencije 50 Hz, no uz određena ograničenja spremna je prenijeti i energiju druge frekvencije. Vrijednost dodatne energije pri tom mora ispuniti dva zahtjeva. Prvi je da dodatna energija mora biti dovoljna da se informacija može prepoznati na bilo kojem mjestu u mreži, a drugi da ona ne smije biti ometajuća za normalan pogon mreže i rad trošila. Mrežno tonfrekventni sustav u osnovi se sastoji od izvora određene frekvencije i modulirane informacije, te prijemnika koji tu informaciju prepoznaju i izvršavaju željenu radnju. Visoka učinkovitost i pouzdanost, masovna upotreba u elektroenergetici, te niska cijena sustava po korisniku razlozi su što se danas mrežno tonfrekventno upravljanje svrstava u najjeftinije sustave komercijalne upotrebe i preuzima vodeću ulogu u svom području djelovanja. Suvremeni sustavi koji su primijenjeni i u Hrvatskoj utiskuju signal u 110 kV-nu mrežu te pokrivaju veliki broj korisnika. Razvijen je složen sustav adresiranja koji nudi više desetaka grupnih te preko 16 milijuna individualnih adresa (2^{24}). Osim tradicionalnih funkcija prebacivanja tarifa na brojilima električne energije, upravljanja potrošnjom i javnom rasvjetom nude se i razne druge mogućnosti poput iskapčanja/ukapčanja neurednih platiša, daljinskog upravljanja rastavljačima, kompenzacijskim postrojenjima, specijalnim trošilima, regulacijskim transformatorima i drugo.

MTU sustav temelji se na širenju informacije na način da je elektroenergetska mreža iskorištena kao transmisijski medij. Audio frekvencija (AF) utiskuje se u mrežu serijski ili paralelno preko odgovarajućih veznih filtara te se širi cijelom mrežom. Kodirane naredbe dostupne su u bilo kojoj točki u mreži i pomoću prijemnika se dekodiraju i pretvaraju u odgovarajuće sklopne operacije. Izbor razine utiskivanja (od 150 kV do 0,4 kV) ovisi o ekonomskim i pogonskim čimbenicima. Za odabranu audio frekvenciju vrši se proračun veznih elemenata, a na temelju podataka za mrežu frekvencije 50 Hz.

AF vezni filtar sastoji se od filtarskih strujnih krugova podešenih na frekvenciju koja se koristi. Njegova uloga je da galvanski odvoji elektroenergetsku mrežu od AF odašiljača i da priguši povratni utjecaj mreže na odašiljač. Frekvencija proizvedena od AF odašiljača mora se prenijeti u elektroenergetsku mrežu sa minimumom gubitaka i izobličenja. Svojstva suvremenih MTU sustava su kompaktnost, minimalne dimenzije, niski gubici i nepotrebno održavanje.

2.1. Načini utiskivanja signala

Dva su temeljna načina utiskivanja MTU signala u mrežu:

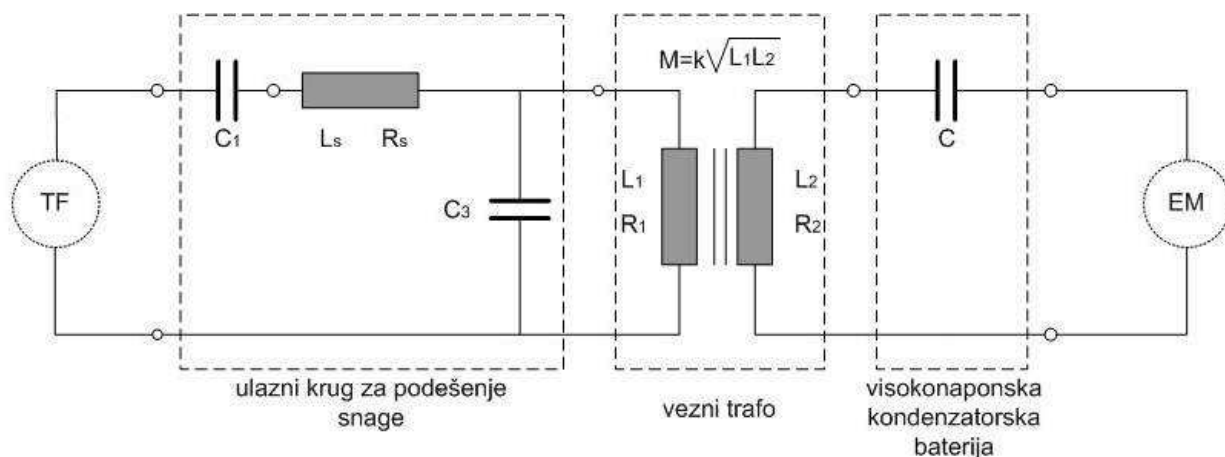
- serijski ili induktivno i
- paralelno ili kapacitivno.

Serijsko utiskivanje ostvaruje se pomoću strujnog transformatora u liniji i odgovarajućih L-C zapornih filtara na strani audio izvora, koji blokiraju tijek mrežne struje u audio izvor. Postoje dvije varijante, s obzirom na izvedbu veznog transformatora:

- prstenasta izvedba veznog transformatora bez zračnog raspora (jaka veza),
- izvedba s otvorenom jezgrom i velikim rasipanjem (slaba veza).

Paralelno utiskivanje ostvaruje se preko mrežnih kondenzatora u seriji s veznim transformatorom kojemu je na ulaz priključen tonfrekventni izvor s eventualno potrebnim RLC elementima za prilagodbu. S obzirom na izvedbu veznog transformatora, klasično su i ovdje poznate jaka i slaba veza, te tzv. RAP veza, koja je između te dvije. Kod slabe veze (većina MTU postrojenja na srednjem naponu u Hrvatskoj koristi upravo ovaj tip veze) vezni transformator je izgrađen od svitaka u zraku s tipičnim faktorom veze oko 0.14, tako da je poprečna reaktancija X_T malena, a uzdužne reaktancije su razmjerno velike [5]. Tako sam transformator djeluje kao upojni filter niskih frekvencija. Paralelna RAP veza (slika 1) primijenjena je kod 110 kV MTU postrojenja u RS (TS) Vrboran kao i kod ostalih 110 kV MTU postrojenja u Hrvatskoj.

Vezni transformator je trofazni uljni transformator s otvorenom željeznom jezgrom, tako da se uz razmjerno nisku indukciju u jezgri ($B \sim 0,6$ T) osigurava dobra linearnost prijenosa, veliki faktor dobrote, otpornost na elektromagnetske utjecaje iz okoliša i dugoročna stabilnost prijenosnih svojstava. Induktivitet niskonaponske strane mu je malen, a visokonaponske velik, tako da se i uz razmjerno velik faktor veze ($k \sim 0,7$) postiže niska poprečna reaktancija X_T , pa je tonfrekventni izvor dobro zaštićen od niskofrekventnih struja iz mreže kao i kod slabe veze. Veliki induktivitet na visokonaponskoj strani omogućuje vezu s mrežom preko kondenzatora C bez dodavanja prigušnice. Γ -filter na niskonaponskoj strani služi uglavnom za podešenje razine fon-frekventnog signala koji se utiskuje u mrežu. Vrijednošću C3 ugađa se razina ton-frekventne struje koja se utiskuje. zahvaljujući specijalnoj izvedbi veznog filtra, zbog niske omske reaktancije i visokog odnosa L_2/L_1 , utjecaj 50 Hz-nog sustava je smanjen tako da nije potrebno ugrađivati dodatne filtre za mrežnu frekvenciju i harmonike kako bi se omogućilo ispravno funkcioniranje odašiljača [5]. Ovo je moguće budući da RAP filtar ima prednosti labave i krute veze, ali izbjegava njihove nedostatke.



Slika 1. Paralelna RAP veza

3. ULOGA VEZNOG FILTRA

Paralelni vezni filter RAP napravljen je kako bi ispunio sljedeće zahtjeve:

- niski gubitak prilikom prijenosa tonfrekventnog signala
- niski djelatni gubici za vrijeme transmisijske pauze zahvaljujući visokom Q faktoru veznog transformatora
- zaštita odašiljača od utjecaja elektroenergetske mreže
- izolacija niskonaponskog veznog dijela od mreže kojom se upravlja
- ugađanje veznog filtra na niskonaponskoj strani upotrebom kondenzatora za ugađanje u paraleli sa niskonaponskim namotom veznog transformatora

Vezni filter sastoji se od:

- visokonaponskog kondenzatora C2 na strani mreže i na kojem dolazi do pada najvećeg dijela 50 Hz-nog napona. Vrijednost ovisi o impedanciji mreže, naponu i tonskoj frekvenciji.
- kondenzatora C2 na niskonaponskoj strani za približnu kompenzaciju tonfrekventnog napona koji se pojavljuje na induktivitetu filterske prigušnice i niskonaponskog namota.
- veznog transformatora koji, skupa sa C2 i C1, čini primarni i sekundarni rezonantni krug. Vezni transformator također služi kao izolacija između visokonaponske elektroenergetske mreže i niskonaponske strane odašiljača. Značajne uštede postižu se korištenjem visokonaponskog namota transformatora kao dijela visokonaponskog serijskog rezonantnog kruga.
- zaštitne i nadzorne opreme

3.1. Parametri veznog filtra u 110 kV-nom MTU postrojenju Vrboran

U postrojenju Vrboran parametri veznog filtra, uzeti s natpisne pločice, odnosno ispitnih tvorničkih protokola su:

$L_s=1,11$ mH; $R_s=20$ m Ω ;
 $L_1=0,181$ mH; $R_1=11$ m Ω ;
 $L_2=323$ mH; $R_2=1,76$ m Ω ;
 $k=0,706$; $M=k\sqrt{L_1L_2}=5,4$ mH;
 $C_1=207$ μ F; $C_3=84$ μ F; $C=1,7$ μ F

Pri frekvenciji od 50 Hz, vezna jedinica ponaša se kao čisti kapacitivni teret. Njena impedancija uz kratkospojenu ili otvorenu tonfrekventnu stranu praktično je jednaka:

$$f=50\text{ Hz}; \quad Z_{i0} \approx Z_{ik} \approx 1771 \angle -90^\circ \Omega$$

i mnogo veća od kratkospojne impedancije energetske mreže te iz mreže uzima struju:

$$f=50 \text{ Hz}; \quad U_m=110/\sqrt{3} \text{ kV} \quad I_{ik} \approx I_{10} \approx 35,9\angle 90^\circ \text{ A}$$

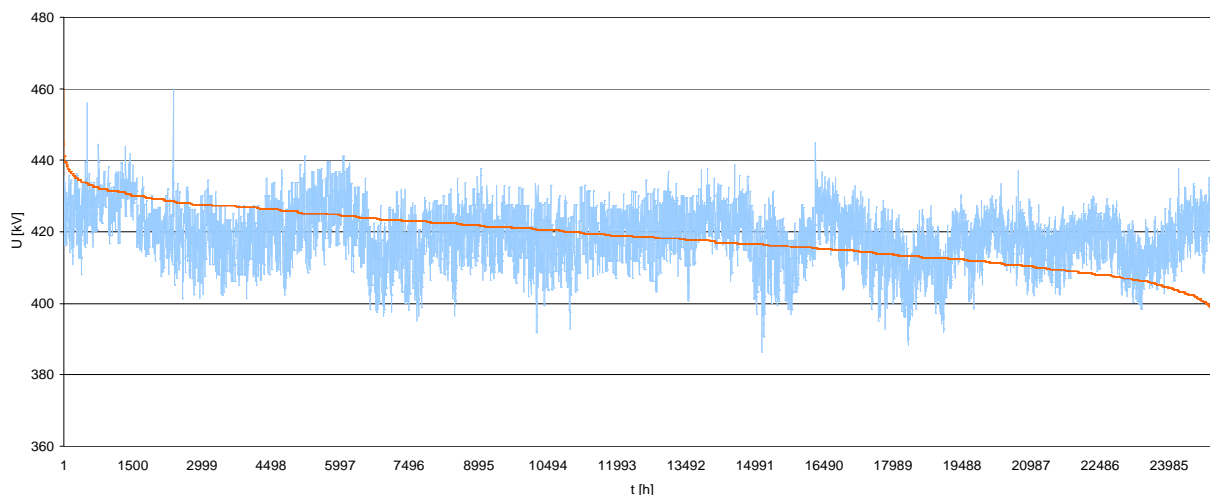
odnosno snagu:

$$P_1=6,8 \text{ kW} \text{ i } Q_1=6,8 \text{ Mvar}$$

4. KAPACITIVNA ULOGA MTU POSTROJENJA

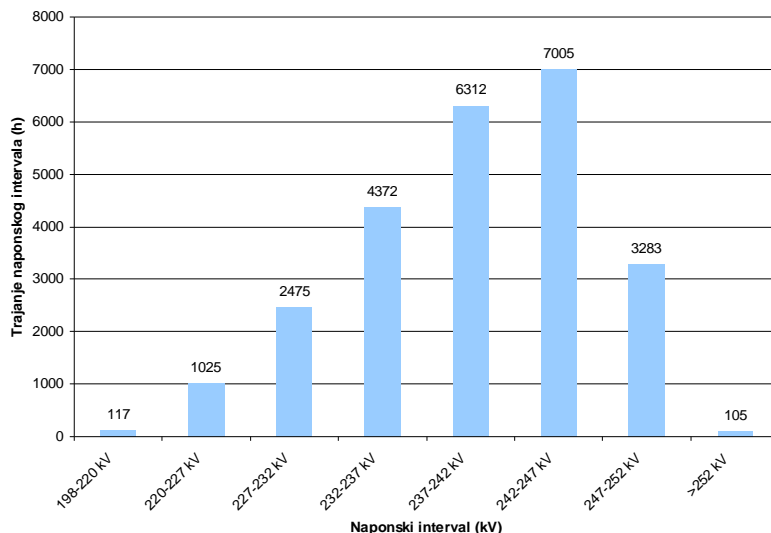
Da bi se ocijenila kapacitivna uloga MTU postrojenja u praksi simuliran je pogon EES-a na području Dalmacije. Pri tom je potrebno imati na umu dugogodišnji problem s visokim naponima u prijenosnoj mreži Hrvatske, posebice na južnom kraku, a što jasno ilustrira slijedeća slika zabilježenih razina napona u čvorištu Konjsko 400 kV u posljednje četiri godine (kolovoz 2004. – travanj 2008.).

Naime, dugi i relativno slabo opterećeni vodovi prijenosne mreže kontinuirano generiraju jalovu snagu i povećavaju napone na sabirnicama, što je bio predmet više dosadašnjih analiza [1-4].



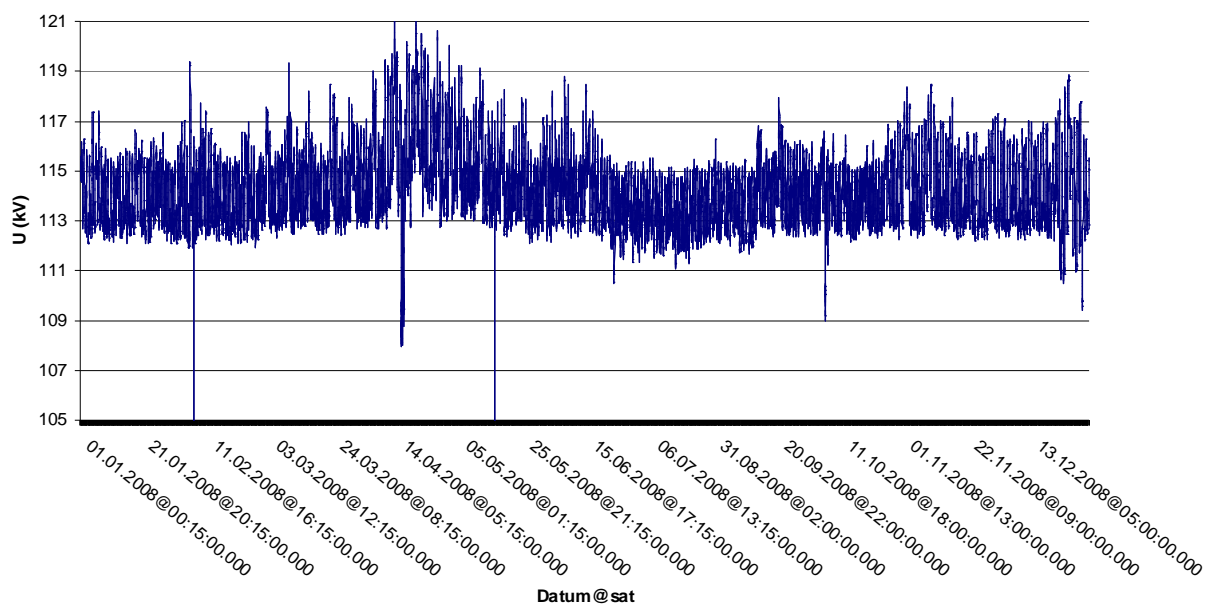
Slika 2. Iznosi napona u čvorištu Konjsko 400 kV 2004.-2008. godine [3]

Dakle, očito je da 67% ili dvije trećine vremena naponske prilike u čvorištu Konjsko 400 kV u posljednje gotovo četiri godine (podaci od proljeća 2008. nisu obrađeni, ali ne odstupaju od ranije zabilježenog) prelaze maksimalno dopuštenu razinu od 420 kV, dostižući čak i vrijednosti od 460 kV. Na sabirnicama 220 kV naponske prilike u posljednje 4 godine bile su gotovo 50% vremena iznad maksimalno dopuštene razine od 242 kV, dostižući i 255 kV (slika 3). Naponske prilike u čvorištu Bilice 220 kV često bilježe još teža naponska stanja.



Slika 3. Trajanje naponskih intervala u čvorištu Konjsko 220 kV 2004.-2008. godine [3]

Posljedično, naponske prilike u čvorištu Vrboran 110 kV također su u pravilu nešto više od nazivne vrijednosti, ali ipak unutar dopuštenih granica (99 kV – 121 kV). Primjerice, 15-minutni prosjeci iznosa srednje vrijednosti napona zabilježeni tijekom 2008. godine u čvorištu Vrboran 110 kV varirali su u rasponu između minimalnih 108 kV i maksimalnih 121 kV, s prosječnim iznosom od 114 kV, kao što je ilustrirano slijedećom slikom.



Slika 4. Iznosi napona u čvorištu Vrboran 110 kV tijekom 2008. godine

4.1. Simulacija utjecaja

Cilj ovog istraživanja je definiranje utjecaja ovakve (MTU) kompenzacije u promatranoj mreži. Modelirano je ekvivalentno kapacitivno opterećenje MTU sustava u čvorištu Vrboran 110 kV na širem području grada Splita i to u iznosu od $Z_{i0} = Z_{ik} = -j1771 \Omega$, što pri nazivnom naponu podrazumijeva tok struje u iznosu od $I=35,9$ A, odnosno snagu $P = 6,8$ kW i $Q = 6,8$ Mvar [5].

Navedena simulacija je provedena na realnoj mreži za četiri karakteristična pogonska stanja i to ne ostvarena, nego očekivana buduća pogonska stanja:

- a) period visokih tereta nazivne 2010. godine uz isključenu bateriju,
- b) period visokih tereta nazivne 2010. godine uz uključenu bateriju,
- c) period niskih tereta nazivne 2010. godine uz isključenu bateriju,
- d) period niskih tereta nazivne 2010. godine uz uključenu bateriju.

Elektroenergetski sustav modeliran je korištenjem PSS/E programskog paketa sukladno podlogama za plan razvoja prijenosne mreže 2010. – 2020. [6]. Na slijedećoj slici modelirano je stanje maksimalnog opterećenja EES Hrvatske projiciranog na nazivnu 2010. godinu, što, između ostalog, podrazumijeva izgradnju i pogon TS Dugopolje, TS Ploče, TS Vrgorac te priključak TS Dujmovača na čvorište Vrboran 110 kV. Na modelu su naponske prilike nešto povišenije od onih zabilježenih u 2008. (npr. u čvorištu Vrboran 110 kV na modelu nazivne 2010. pri maksimalnom opterećenju napon iznosi 118 kV, dok je 2008. bio na razini od 115 kV). Naime, time se analizira nepovoljnije stanje sustava pri kojem je utjecaj kondenzatorske baterije još izraženiji, iako u konačnici to neće značajnije utjecati na procjenu utjecaja promatrane baterije na naponske prilike.

Priključenjem kondenzatorske baterije ekvivalentne snage 7.8 Mvar dolazi do blagog povećanja naponskih prilika u priključnom čvorištu i to za iznos od 0.2 kV (slike 5 i 6). Utjecaj na naponske prilike u ostalim čvorištima prijenosne mreže je znatno manji. U tablici 1 dan je pregled naponskih prilika pojedinih točaka mreže za promatrane varijante.

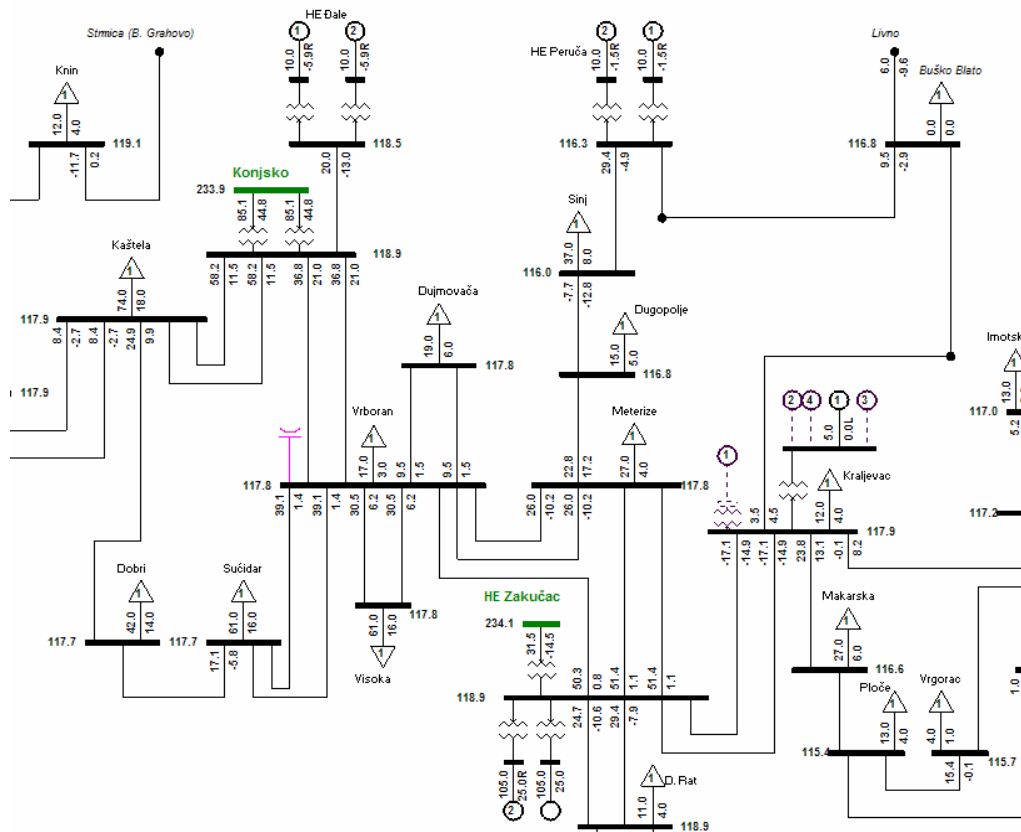
Tablica 1. Pregled naponskih prilika (kV) pojedinih točaka za promatrana pogonska stanja

Postrojenje	Vrboran	Meterize	Dobri	Konjsko 110	Kraljevac	Imotski	Makarska	Ploče	Sinj
varijanta a)	117.8	117.8	117.7	118.9	117.9	117.0	116.6	115.4	116.0
varijanta b)	118.0	118.0	118.0	119.1	118.0	117.1	116.7	115.4	116.2
varijanta c)	125.3	125.3	125.4	126.0	124.4	123.6	123.7	124.4	123.6
varijanta d)	125.8	125.7	125.8	126.3	124.7	123.8	124.0	122.6	123.9

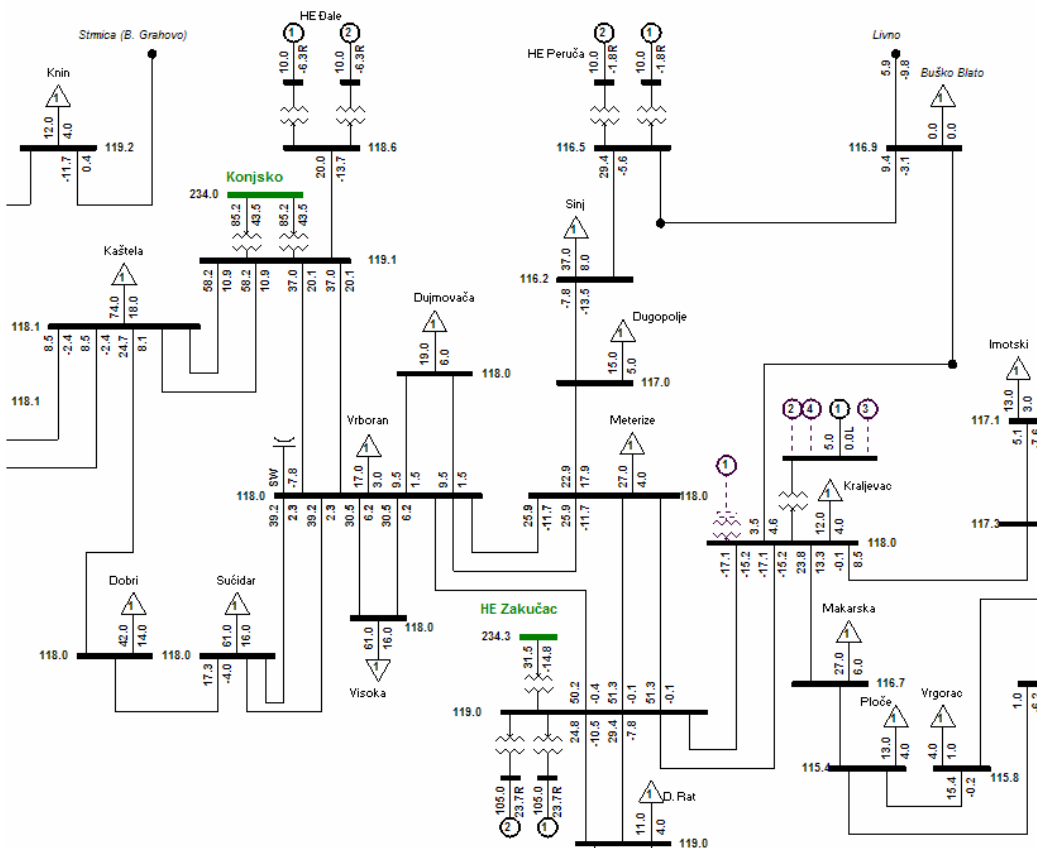
Nešto veći utjecaj na naponske prilike bilježi se pri nepovoljnijem, minimalnom opterećenju sustava pri kojem priključenje kondenzatorske baterije ekvivalentne snage 8.9 Mvar dovodi do povećanja naponskih prilika u priključnom čvorištu za iznos od oko 0.5 kV (slike 7 i 8). Utjecaj na naponske prilike u ostalim čvorištima prijenosne mreže je znatno manji.

Ovom kratkom i ilustrativnom analizom pokazuje se da akutni problem visokih naponskih prilika u prijenosnoj mreži Dalmacije nije značajnije pogoršan priključkom MTU sustava. Naime, problem previsokih napona u prijenosnoj mreži bit će potrebno rješavati kompenzacijskih uređajem znatno veće snage (npr. 150 Mvar) priključenim u neki od obližnjih 400 kV čvorišta.

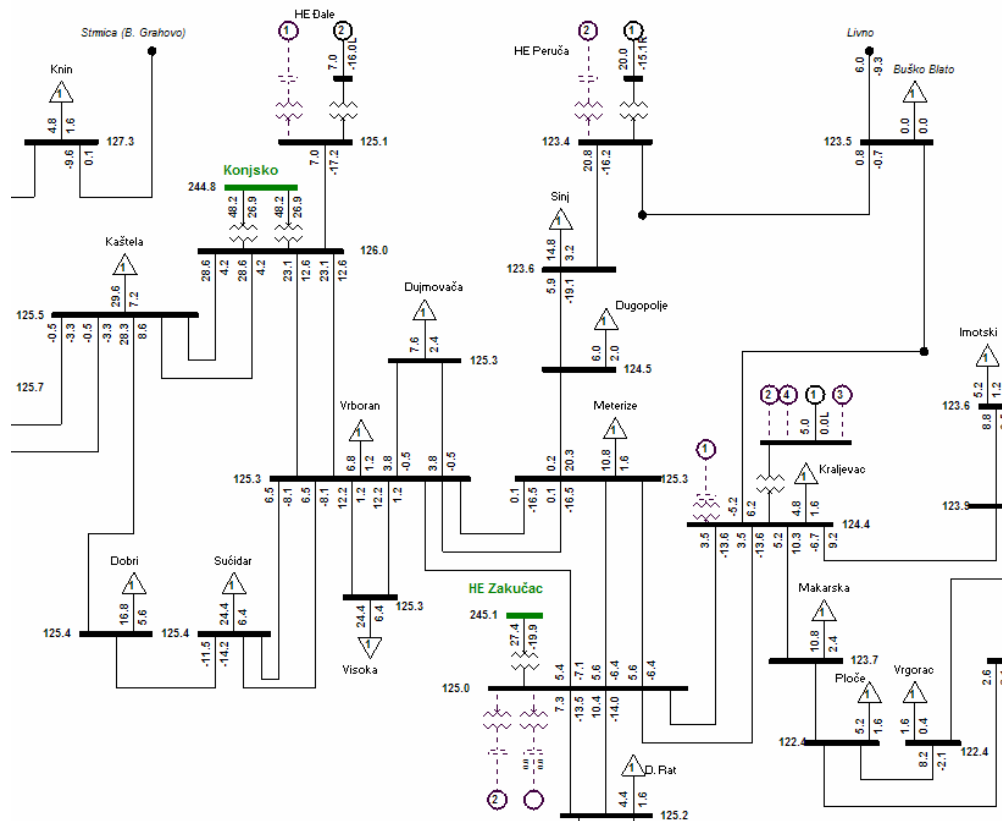
Potrebno je napomenuti da prenaponska zaštita kondenzatorskih baterija MTU postrojenja ne bi dozvolila rad istih na naponu višem od 123 kV, odnosno dala bi nalog za iskapčanje postrojenja sa 110 kV mreže.



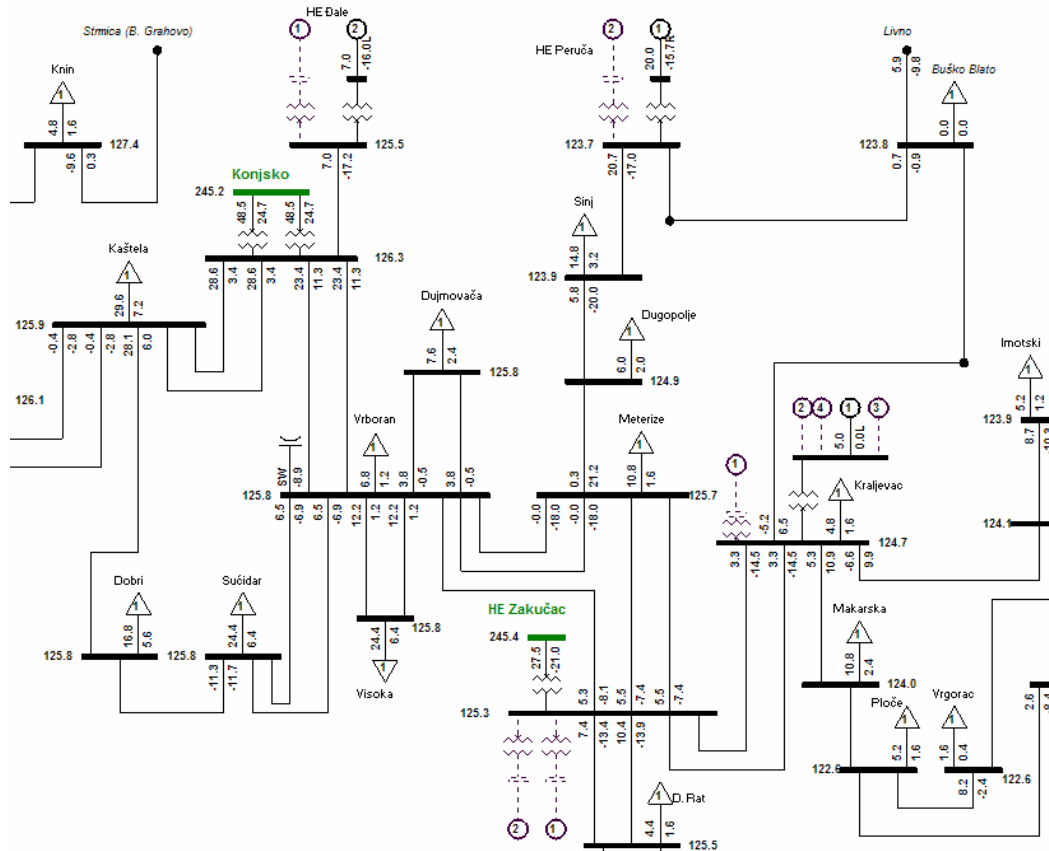
Slika 5. Naponske prilike u okruženju čvorišta Vrboran 110 kV nazivne 2010. pri maksimalnom opterećenju bez priključene ekvivalentne kondenzatorske baterije



Slika 6. Naponske prilike u okruženju čvorišta Vrboran 110 kV nazivne 2010. pri maksimalnom opterećenju s priključenom ekvivalentnom kondenzatorskom baterijom



Slika 7. Naponske prilike u okruženju čvorišta Vrboran 110 kV nazivne 2010. pri minimalnom opterećenju bez priključene ekvivalentne kondenzatorske baterije



Slika 8. Naponske prilike u okruženju čvorišta Vrboran 110 kV nazivne 2010. pri minimalnom opterećenju s priključenom ekvivalentnom kondenzatorskom baterijom

5. UTJECAJ NA OSTALE ELEMENTE VOĐENJA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Održavanje napona je usluga sustava kojom se održava prihvatljiv naponski profil u cijeloj mreži. Postiže se uravnoteženjem bilance jalove snage u ovisnosti o potražnji jalove snage mreže i trošila [9]. Kao što je vidljivo iz prethodne analize, kapacitivna uloga MTU postrojenja utječe na povišenje napona u prijenosnoj mreži. Ipak, u periodima visokih opterećenja, kad je opterećenje 110 kV mreže induktivno, takva kondenzatorska baterija doprinosi smanjenju gubitaka (I^2R) te optimizaciji tokova snaga. Njena uloga bi još bolje koristila u sjevernoj Hrvatskoj gdje su vodovi kraći, a potreba za jalovom energijom veća [8]. U svrhu kompenzacije mreže i proizvodnje jalove energije u TS 220/110/10,5 kV Đakovo ugrađene su regulacijske kondenzatorske baterije na 110 kV (3 x 16 Mvar).

Proizvodnja jalove energije predstavlja i određeni trošak, a krivulja troškova proizvodnje jalove snage predstavlja ovisnost između proizvedene jalove snage ili energije i troška uzrokovanog tom proizvodnjom. Prema [8], pored fiksnih troškova (trošak izgradnje strojeva i pomoćne opreme), postoje varijabilni troškovi kao što su gubici u namotima (I^2R) te oportunitetni trošak neiskorištene mogućnosti proizvodnje djelatne snage sinkronog generatora zbog potrebe za povećanom proizvodnjom jalove snage. Ako bi troškovi bili jedini aspekti, pružatelj usluga u prijenosu bi u svakom trenutku najprije trebao iskoristiti statičke izvore jalove snage, a tek zatim dinamičke. Vrlo malo snage u stacionarnom stanju sustava treba biti proizvedeno iz generatora [12].

Uklonno stanje mreže također utječe na razmatranje utjecaja kondenzatorske baterije na sustav, što ipak zahtijeva obimniju analizu tokova snaga.

6. ZAKLJUČAK

Suvremena MTU postrojenja koja su izgrađena ili se grade na području Hrvatske relativno su velike snage i priključuju se paralelno na 110 kV mrežu. S obzirom na izvedbu veznog filtra karakter takvog postrojenja je kapacitivan odnosno ponaša se kao kondenzatorska baterija. Takva kondenzatorska baterija može imati kapacitet od nekoliko Mvar-a i time utjecati na tokove snaga i regulaciju napona EES-a. Na primjeru realne mreže EES-a Dalmacije (dugi vodovi, često podopterećeni) pokazano je da u periodima nižih tereta takva baterija može povisiti napon i do 0,5 kV odnosno u periodima viših tereta oko 0.2 kV. No, problem previsokih napona u prijenosnoj mreži potrebno je rješavati kompenzacijskih uređajem znatno veće snage (npr. 150 Mvar) priključenim u neki od obližnjih 400 kV čvorišta.

Za periode viših opterećenja odnosno za sjeverna područja Hrvatske moglo bi se zaključiti da kapaciteti MTU postrojenja pozitivno utječu na smanjenje gubitaka i povećanje mogućnosti proizvodnje djelatne snage generatora.

7. LITERATURA

- [1] N. Dizdarević i dr.: „Određivanje optimalnog položaja preklopki transformatora 400/220 kV i 400/110 kV u prijenosnoj mreži HEP-a s obzirom na očekivane naponske prilike u kratkoročnom razdoblju“, EIHP, 2005.
- [2] D. Bajs, G. Majstrovic, M. Majstrovic: „Analiza potreba ugradnje kompenzacijskih uređaja u prijenosnoj mreži HEP-a za planirani razvoj mreže u kratkoročnom i srednjeročnom razdoblju“, EIHP, 2002.
- [3] M. Džamarija, G. Majstrovic: „Kompenzacija jalove snage“, EIHP, 2009.
- [4] M. Majstrovic i dr.: „Metode za izbor najpovoljnije lokacije kompenzacijskog uređaja“, EIHP, 2001.
- [5] R. Goić, S. Milun: „Razvoj i primjena MTU sustava u DP Elektrodalmacija Split“, FESB, 2004.
- [6] Podloge za 10-godišnji plan razvoja prijenosne mreže Hrvatske, EIHP, 2009.
- [7] <http://www.rundsteuerung.de>
- [8] T. Plavšić, I. Kuzle: „Model tržišta jalovom snagom temeljen na podjeli EES-a u naponske zone i dvo-razinskom optimizacijskom algoritmu“, Energija, god. 58, br. 5., 2008.
- [9] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, NN br. 36/2006.
- [10] Podaci iz baze mjerenja HEP-a „OBEN“
- [11] S. Žutobradić, L. Waggmann, M. Puharić: „Strategija uvođenja sustava mrežnog tonfrekventnog upravljanja (MTU) u mrežu 110 kV HEP-a“, HO CIGRE, 6. simpozij o elektrodistribucijskoj djelatnosti, Osijek, 2006.
- [12] N. Dizdarević i dr.: „Tržišni aspekti regulacije napona i kompenzacije jalove snage“, EIHP, pozvano predavanje za stručni kolegij HEP OPS-a, HEP OPS, Zagreb, 2006.