

Boris Krstulja, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o. – Elektroprimorje Rijeka
boris.krstulja@hep.hr

Krešimir Šimleša, dipl. ing. el.
HEP – ODS d.o.o. – Elektroprimorje Rijeka
kresimir.simlesa@hep.hr

UTJECAJ KABLIRANJA SN MREŽE NA RASPROSTIRANJE MTU SIGNALA

SAŽETAK

Intenzivno kabliranje SN distribucijske mreže ima za posljedicu značajno povećanje kapacitivne jalove snage u elementima mreže. Pored efekata prelaska sa 10 kV na 20 kV napon SN mreže, povećanja pogonskog napona u mreži s utjecajem na automatsku regulaciju napona na 110/x kV transformatorima, pojavljuje se i utjecaj na značajno povećanje razine MTU signala u SN mreži. Posljedica toga je nemogućnost ispravnog rada MTU prijamnika posebno za vrijeme niskog djelatnog opterećenja u mreži. Pojava previsokog signalnog napona blokira rad MTU prijamnika i degradira njegovu funkciju. Kako su te pojave uglavnom lokalnog i sezonskog karaktera pojavljuje se potreba za ugradnjom prigušnica za kompenzaciju kapacitivne jalove snage.

Rad prikazuje neke situacije i posljedice povećane kapacitivne jalove snage u SN mreži kao i moguća rješenja njezine kompenzacije.

Ključne riječi: kabliranje, SN mreža, MTU signal, prigušnica za kompenzaciju

IMPACT OF MV NETWORK CABLING TO THE PROPAGATION OF RIPPLE CONTROL SIGNAL

SUMMARY

The intensive cabling of MV distribution network result in significant increase of capacitive reactive power in network elements. In addition to the effects of transition from 10 kV to 20 kV voltage in MV network, increase of the operating voltage in network with the influence to the automatic voltage control at 110/x kV transformers, there is also the impact of a significant increase in the level of ripple control signal in MV network. The consequence is the impossibility of proper operation of ripple control receivers especially during low ohmic loads in the network. The appearance of excessive signal voltage is blocking ripple control receivers and degrades their function. As that appearance has mainly local and seasonal character there is a need for installation of compensation for capacitive reactive power.

The paper presents some situations in MV network and the consequences of increased capacitive reactive power in MV network as well as possible solutions for its compensation.

Key words: cabling, MV network, ripple control signal, shunt reactor

1. UVOD

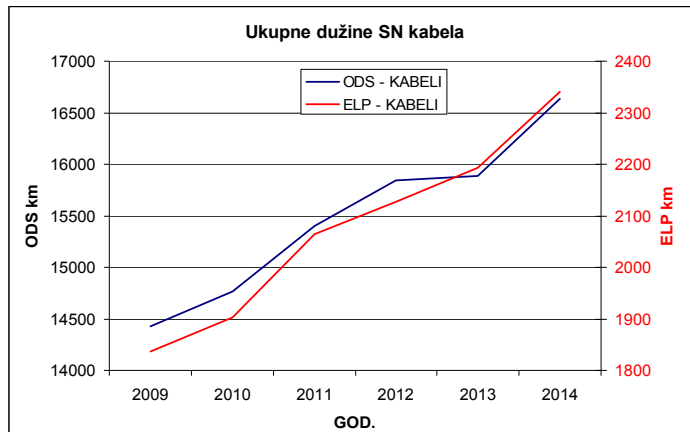
Ukupna cijena izgradnje i eksploatacije nove SN kableske mreže značajno je manja od izgradnje i eksploatacije nove zračne mreže ako se u tu cijenu uračunaju i troškovi održavanja i popravka kvarova, troškovi prosjeka trase zračnih vodova kao i troškovi neisporučene električne energije zbog broja i trajanja popravaka. Posljedica toga je intenzivno korištenje novih kabela prilikom izgradnje novih ili rekonstrukcija (zamjena) postojećih SN vodova.

Svako stavljanje u pogon novog kablenskog voda dovodi do povećanja kapacitivne jalove snage u SN mreži. Za orijentaciju može se reći da 1 km novog SN kabela unosi od 1 A/km do 3 A/km i po fazi, nove kapacitivne struje. Postojanje fiksne kompenzacije induktivne jalove snage kondenzatorskim baterijama kod kupaca električne energije, uvjetovano naplatom jalove snage prema tarifnom sustavu, dodatno pogoršava takvo stanje. Takvo povećanje kapacitivne jalove snage ima za posljedicu, pored efekata prelaska sa 10 kV na 20 kV napon SN mreže, povećanja pogonskog napona u mreži s utjecajem na automatsku regulaciju napona na 110/x kV transformatorima ima i utjecaj na značajno povećanje razine MTU signala u SN mreži. Kapacitivni karakter jalove snage u SN mreži naročito dolazi do izražaja za vrijeme manjih radnih opterećenja u SN mreži a koja se pojavljuju u proljetnom i jesenskom periodu godine.

U svrhu sanacije tih posljedica u Elektroprimorju Rijeka poduzimaju se pripremne mjere za kompenzaciju utjecaja kapaciteta na razinu MTU signala u SN mreži.

2. UTJECAJ KABLIRANJA NA JALOVU SNAGU

Prema podacima iz godišnjih izvješća HEP d.d. Grupe [3] kao i godišnjih izvješća HEP – ODS d.o.o. [4] kretanje ukupnih dužina SN kabela u periodu od 2009. do 2014. godine prikazano je na slici 1. Za ukupne dužine SN kabela uzeti su podaci za 35, 30, 20 i 10 kV podzemne i podmorske kabele. Posebno su prikazani podaci za dužine SN kabela u Elektroprimorju Rijeka [5].

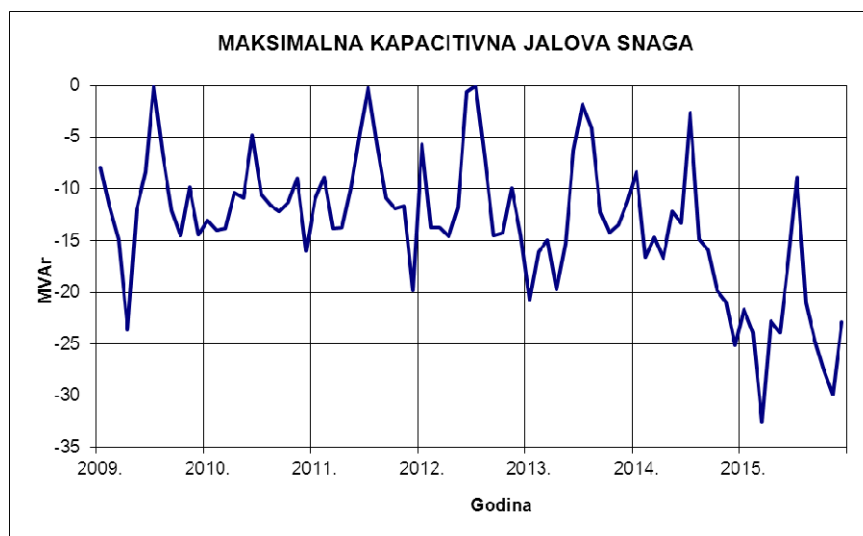


Slika 1. Trend rasta ukupnih dužina SN kabela

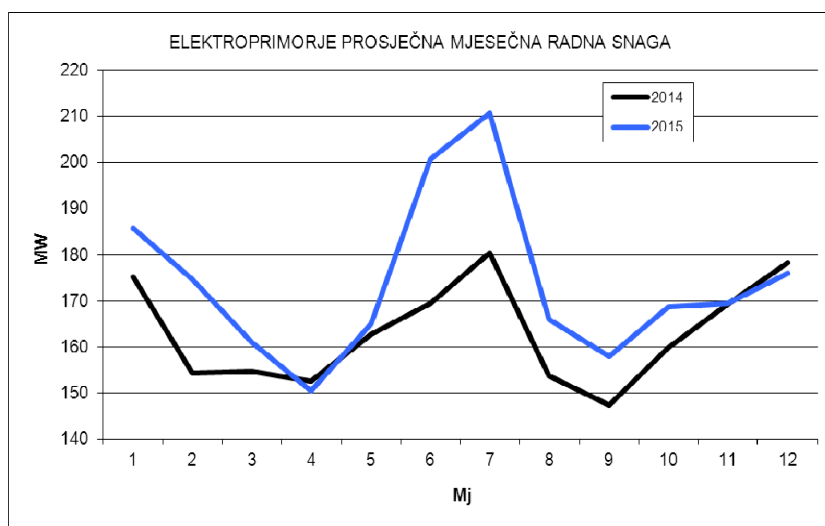
Dužine SN kabela na razini ODS-a imaju prosječni godišnji rast od 440 km u navedenom periodu.

Elektroprimorje Rijeka ima prosječni godišnji rast dužine SN kabela od 100 km, s trendom približnim ukupnom godišnjem rastu ODS-a (vidi sliku 1.), a što znači rast od prosječno godišnje oko 9 MVar konstantne kapacitivne snage.

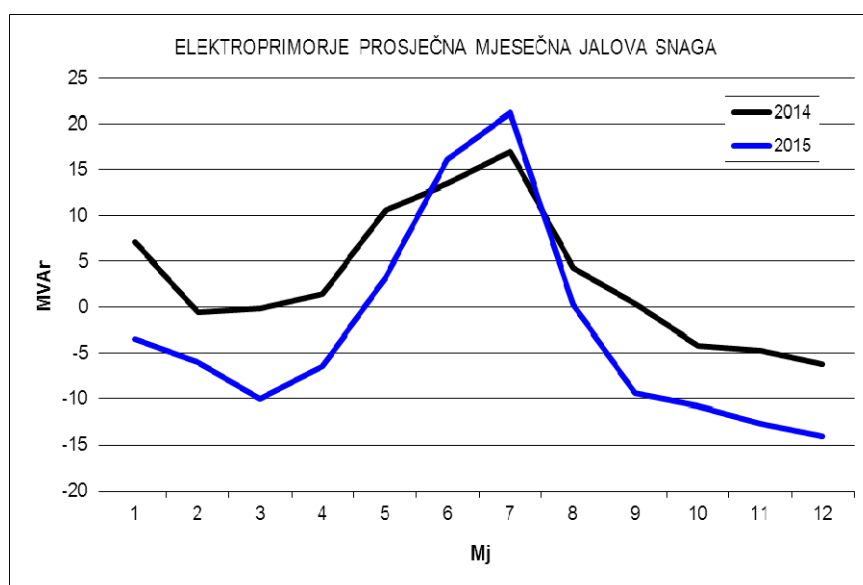
Posljedica takvog kabliranja SN mreže je i značajno povećanje ukupne kapacitivne jalove snage u Elektroprimorju Rijeka [5] kao što je vidljivo na slici 2. Posebno se primjećuje veći rast u 2014. i 2015. godini što je posljedica intenzivnog kabliranja na području Gorskog kotara nakon ledene havarije početkom 2014. godine i polaganja novih podmorskih kabela kopno – otok Krk – otok Cres. Uočava se i značajan sezonski utjecaj na kapacitivnu jalovu snagu kada ona pada u vrijeme ljetnog korištenja klima uređaja. Kretanje prosječne mjesečne radne i jalove snage [5] prikazano je na slikama 3. i 4.



Slika 2. Maksimalna kapacitivna jalova snaga 2009. – 2015.



Slika 3. Prosječna mjesečna radna snaga



Slika 4. Prosječna mjesečna jalova snaga

Iz slike 3. vidljivo je da je u ljetnim mjesecima 2015. godine došlo do značajnog povećanja radne snage u odnosu na 2014. godinu. To je posljedica intenzivnijeg korištenja klima uređaja za hlađenje. Proljetna i jesenska opterećenja su ostala ista.

Iz slike 4. vidljivo je da je induktivna jalova snaga (pozitivne vrijednosti) relativno malo povećana u odnosu na 2014. godinu no s velikim skokom u odnosu na proljetna i jesenska opterećenja jalove snage koja su isključivo u kapacitivnom području (negativne vrijednosti). Proljetne i jesenske vrijednosti kapacitivne jalove snage pokazuju upravo predviđen rast od oko 9 MVar godišnje.

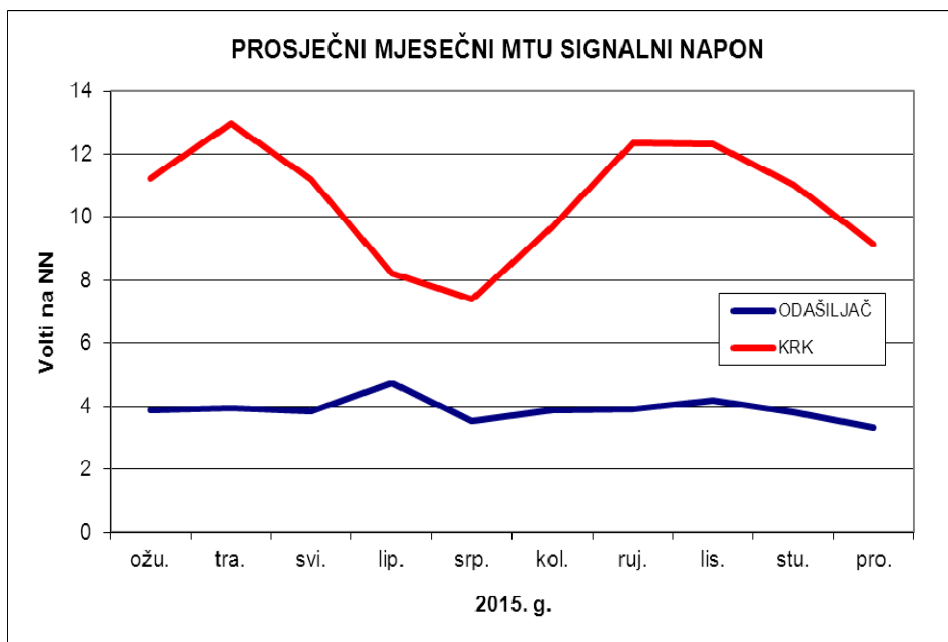
3. UTJECAJI NA RAZINU MTU SIGNALA U NN MREŽI

Signal mrežnog tonfrekventnog upravljanja se kod nas koristi od 70-tih godina i upravlja tarifama, javnom rasvjetom, upravljanoj termičkom potrošnjom te daljinskim iskapčanjem neplatiša. Do 2006. godine u Elektroprimorju se utiskivalo MTU signal na SN (35, 20 ili 10 kV) s 10 odašiljača i utisnih mjesta. Nakon toga su brojni SN odašiljači, kojima je isticao životni vijek, zamijenjeni jednim novim 110 kV odašiljačem koji pokriva 110 kV energetska mrežu Primorsko-goranske Županije, Ličko-senjske Županije te značajna područja Istre i Elektre Zadar s karakterističnom frekvencijom MTU signala od 216,6 Hz.

Prethodno izrađena studija prelaska utiskivanja MTU signala u 110 kV mrežu [1] je naznačila fenomen porasta napona MTU signala na perifernim dijelovima SN mreže zbog podmorskih kabela, ali u prihvatljivim i uobičajenim granicama [2].

Danas se zbog promjene transformacije (novi transformatori 110/20 kV imaju $U_k = 11\%$ dok su stari 110/35 kV imali $U_k = 8\%$), a pod utjecajem porasta dužine SN kableske mreže i smanjenja radnog opterećenja u proljetnom i jesenskom periodu godine, pojavio fenomen porasta MTU signala na SN sabirnicama te njegovo utrostručenje u NN mreži.

Usporedba mjerenja MTU signala [5] na mjestu odašiljača i u TS 110/20/35 kV Krk prikazana je na slici 5. Takav trend pokazuju i dugogodišnja mjerenja razine MTU signala koja se provode trajno putem SCADA sustava i odgovarajućih mjernih pretvornika.



Slika 5. Prosječni mjesečni MTU napon u 2015. godini

Maksimalno dozvoljena razina MTU signala u elektrodistribucijskoj mreži je ograničena s jedne strane normama za konstrukciju i tipsko ispitivanje MTU prijemnika na oko $10 \times U_{min}$ prorade i ovisno o karakterističnoj frekvenciji, te normom o kvaliteti napona u elektrodistribucijskoj mreži HRN-EN 50160:2012, s najvišom razinom od $5\% U_n$. Na 230 V ~ taj napon iznosi najviše 11,5 V.

Rasprostiranje MTU signala u radno-induktivnom režimu mreže ima karakter opadanja idući od izvora prema krajnjem trošilu, dok u radno-kapacitivnom režimu rada mreže razina MTU signala ima karakter velikog porasta prema krajnjem trošilu, ovisno o RLC balansu mreže na karakterističnoj frekvenciji, u ovom slučaju na 216,6 Hz.

Primjere vrijednosti razina MTU signala u mreži je nužno promatrati metodama izračuna na uzdužnim parametrima vodova, a nisu vidljivi bez velikog broja iteracija što je danas provedivo jedino računalom i odgovarajućim programskim alatima.

Na mjestima transformacije izračun fenomena porasta MTU signala u kapacitivnom režimu s koncentriranim parametrima mreže je moguć uobičajenim računskim metodama u općoj elektroenergetici pa je sljedeći primjer koristan za poimanje ovog utjecaja, a prikazan je formulom (1).

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{((1 - (F_{tf}/50)^2 * U_k * q)^2 + (U_k * p * F_{tf}/50)^2}} \quad (1)$$

gdje su:

U_2 – MTU napon na sekundaru transformatora,

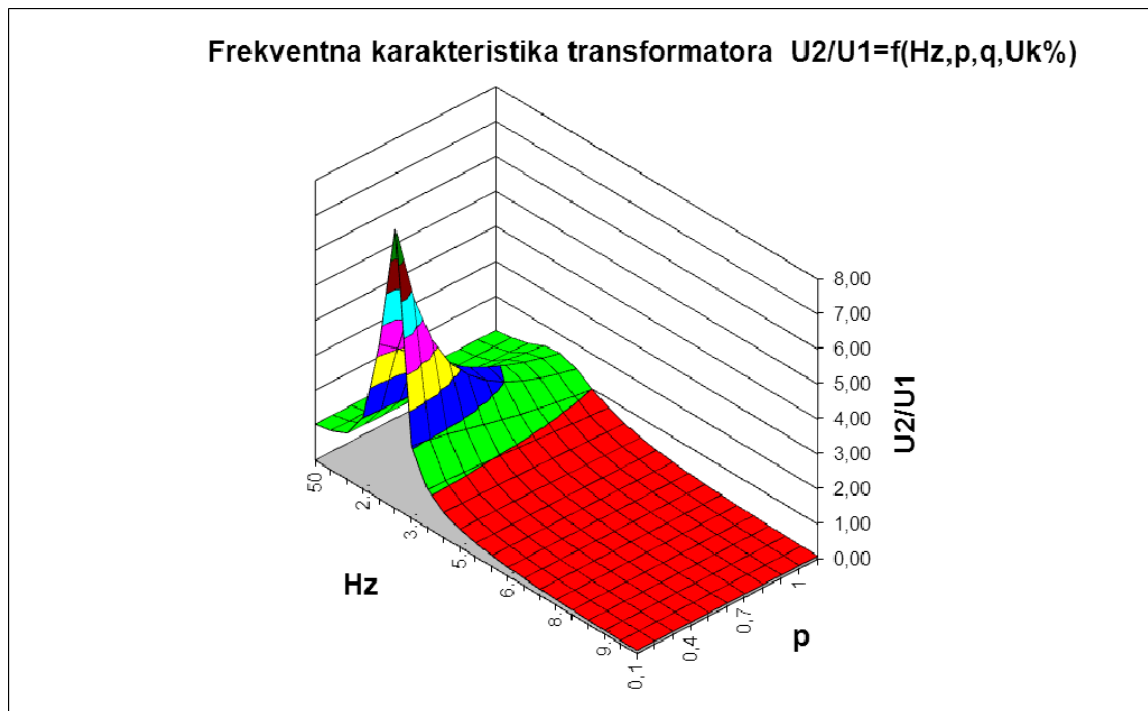
U_1 – MTU napon na primaru transformatora,

F_{tf} – karakteristična frekvencija MTU signala,

U_k – napon kratkog spoja u %,

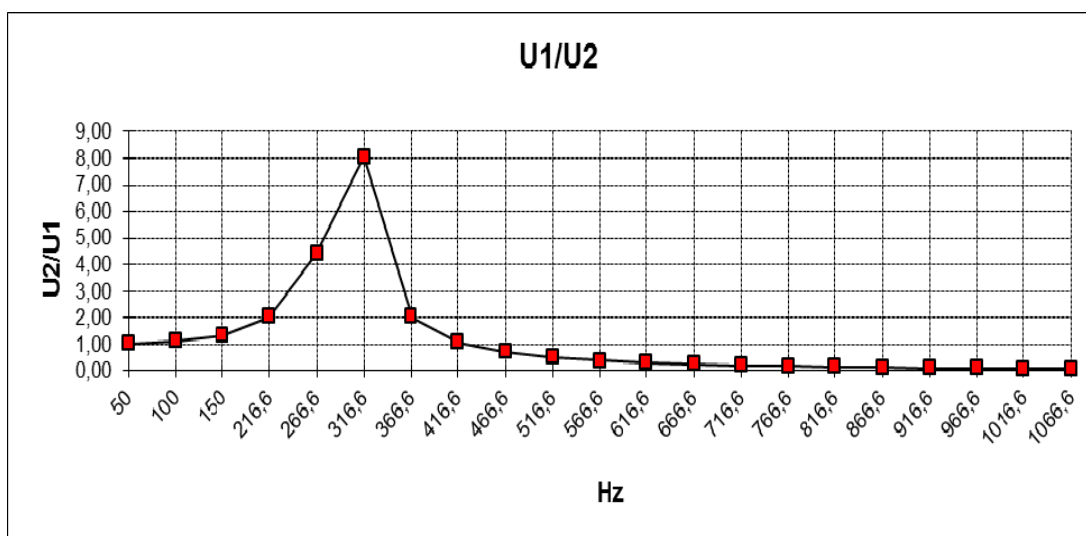
q – omjer kapacitivnog opterećenja i nazivne snage transformatora,

p – omjer radnog opterećenja i nazivne snage transformatora.



Slika 6. 3D Frekventna karakteristika transformatora 110/20 kV

Na slici 6. prikazana je ovisnost MTU signala na transformatoru 20 MVA, 110/20 kV, $U_k = 11\%$, opterećenog s Q_c od 5 MVar, ovisno o karakterističnoj frekvenciji MTU sustava, i radnom opterećenju transformatora $p = P_{radno}/P_{nazivno}$. Za radno opterećenje veće od 70 % P_n , odnos U_2/U_1 je manji od 2, za manja radna opterećenja odnos je veći od 2 i time nepovoljniji jer je MTU signal veći.



Slika 7. Frekventna karakteristika transformatora 110/20 kV

Na slici 7. prikazan je presjek rezultata izračuna prema formuli (1), za prethodni primjer transformatora 110/20 kV, pri radnom opterećenju transformatora $p = P_{\text{radno}}/P_{\text{nazivno}} = 0,1$ (opterećen radno s 10 %).

Isti fenomen porasta MTU signala u kapacitivnom režimu i niskim razinama radnog opterećenja ponavlja se i na transformatorima 20/0,4 kV u SN mreži što u konačnici ima za posljedicu višestruki porast MTU signala u NN mreži.

Ovako niska radna opterećenja pojavljuju se u SN mreži Elektroprimorja Rijeka posebno na turističkim područjima sa znatnim brojem praznih vikendica i apartmana u van-sezonsko vrijeme, a mrežom kapacitiranom za konzum u vrijeme vršne sezone (primjer otoci Krk, Cres, Lošinj i Rab) .

Računski, mjereni i očekivani podaci se slažu sa znanjem o fenomenu porasta razine MTU signala u kapacitivnom režimu rada mreže. Ono na što se ne može utjecati je trend pada potrošnje i jaki trend razvoja kableske mreže. Prikazana pojava porasta razine MTU signala može se djelomično držati pod nadzorom promjenom konfiguracije mreže. Taj alat je, međutim, vrlo ograničen i nije dugotrajno rješenje.

Smanjenje razine utiskivanja MTU signala na odašiljaču nije i ne može biti prihvatljivo rješenje radi nastanka problema s pre niskom razinom MTU signala u drugim perifernim dijelovima NN mreže. Osim toga mogućnost regulacije razine utiskivanja na odašiljačima je ograničena na pre grubu vrijednost od $\pm 10\%$ napona utiskivanja.

4. MOGUĆA RJEŠENJA KOMPENZACIJE

Kompensacija prekomjerne kapacitivne jalove snage u SN mreži izvodljiva je najučinkovitije putem ugradnje paralelno spojenih prigušnica na raznim mjestima i na raznim naponskim razinama, takozvanih Shunt prigušnica.

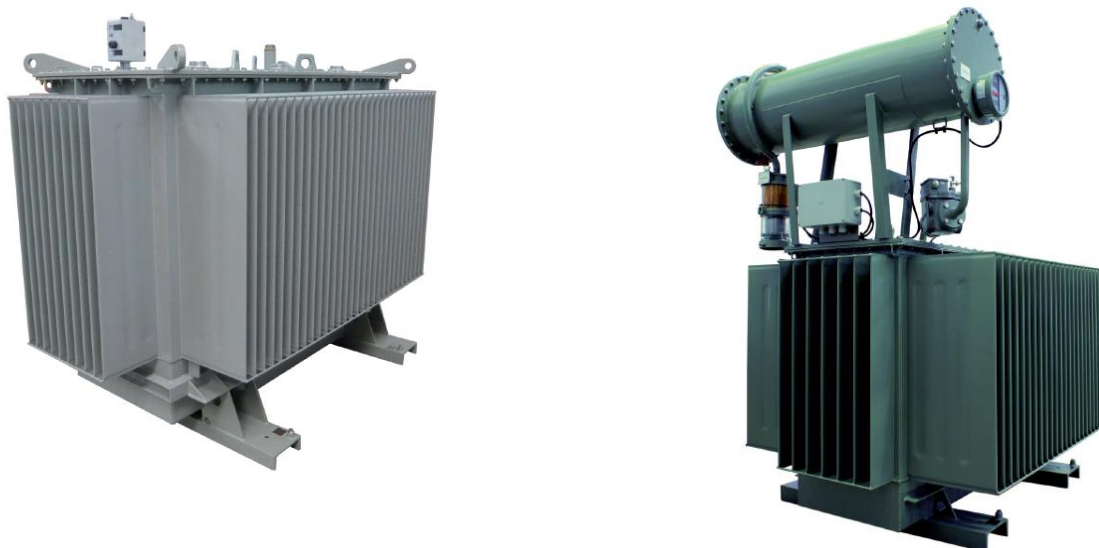
Na NN sabirnice u trafostanicama 10(20)/0,4 kV ugrađuju se trofazne prigušnice suhe izvedbe i snaga do 100 kVAr štice osiguračima ili daljinski upravljivim NN sklopkama, primjer kojih je prikazan na slici 8.

Na SN sabirnice ugrađuju se, kod potrebe kompenzacije većih snaga, trofazne prigušnice. One mogu biti izvedene u izolacijskom ulju (vidi primjer na slici 9.) ili suhe, epoksidom izolirane izvedbe, jednofazne ili trofazne (vidi primjer na slici 10.). Takve prigušnice moraju biti štice daljinski upravljivim prekidačima i odgovarajućim električnim zaštitnim uređajima.

Koja će se rješenja koristiti ovise o potrebnoj snazi kompenzacije, mogućim mjestima ugradnje (npr. prostor, postojanje i kapacitet uljne jame i dr.) te tehnno-ekonomskoj opravdanosti njihovog uvođenja.



Slika 8. Trofazna prigušnica (2 – 100 kVAr), u kućištu, Poljska



Slika 9. Trofazna prigušnica 500 kVAr, Češka



Slika 10. Jednofazna prigušnica (1 – 3 MVar), Austrija

5. ZAKLJUČAK

Značajno povećanje dužine SN kabela mreže uzrokuje i značajno povećanje njene kapacitivne jalove snage. Ta snaga je konstantnog karaktera te uzrokuje, posebno u periodima nižeg radnog opterećenja SN mreže, i fenomen povećanja napona MTU signala u NN mreži iznad dopuštene granice. Takav rast MTU signala uzrokuje blokadu rada MTU prijamnika posebno u proljetnom i jesenskom periodu godine te prelazak granice zadane normom.

Tradicionalni način kompenzacije kapacitivne jalove snage u postupku vođenja SN mreže sastoji se u kontroli napona putem regulatora napona na 110/x kV transformatorima i ugovaranjem proizvodnje induktivne jalove snage na proizvodnim jedinicama u SN mreži. Korištenje Statičke Var Kompenzacije (SVC) i STATCOM uređaja u SN mreži nije još ekonomski opravdano. Preostaje jedino ugradnja upravljivih, fiksno podešenih i paralelno spojenih prigušnica na raznim mjestima i na raznim naponskim razinama. Očito je da je najproduktivnije ugraditi prigušnice na niskom naponu, s većim brojem jedinica u mreži s dužim SN kabelima, na način kako je to dosada učinjeno ugradnjom kapaciteta za kompenzaciju induktivne jalove snage u mreži. Poželjna je i mogućnost daljinskog upravljanja takvim prigušnicama zbog lokalnog i sezonskog karaktera pojave kapacitivnog režima rada SN mreže.

Domaće tržište još ne nudi odgovarajuće prigušnice, posebno za ugradnju u NN mreži, pa se ovim putem apelira na domaće proizvođače prigušnica da u svoj proizvodni program uključe i taj proizvod.

6. LITERATURA

- [1] "Izvodljivost primjene sustava mrežnog tonfrekventnog upravljanja sa utiskivanjem signala u mrežu 110 kV na području DP Elektroprimorje Rijeka", Energetski Institut „Hrvoje požar“, Zagreb, lipanj 2003. g.
- [2] "Metoda proračuna MTU signala u 110 kV mreži", Wagmann, L., Žutobradić, S., Puharić, M., Energija, god. 57(2008), br. 1., str. 88-115.
- [3] Godišnja izvješća HEP Grupe – 2009. – 2014.
- [4] Godišnja izvješća HEP – ODS d.o.o. – 2009. – 2014.
- [5] Tehnička baza podataka HEP – ODS – Elektroprimorje Rijeka.