

mr. sc. Damir Bandl, dipl. ing.
KONČAR – Elektronika i informatika d.d., Zagreb
dbandl@koncar-inem.hr

Nikola Bečki, dipl. ing.
HEP – ODS d.o.o., Elektra Zagreb
nikola.becki@hep.hr

MREŽNO TONFREKVENCIJSKO UPRAVLJANJE

SAŽETAK

U radu su prikazane koristi sustava mrežno tonfrekvencijskog upravljanja za tržišne korisnike. Opisane su tehničke karakteristike i iskustva u realizaciji MTU sustava u Elektri Zagreb

Ključne riječi: mrežno tonfrekvencijsko upravljanje, upravljačka frekvencija, mrežno tonfrekvencijski prijamnik

RIPPLE CONTROL SYSTEM

SUMMARY

In this Paper the authors analyze the main benefits of ripple control system for market subjects. Technical characteristic and user experiences in realisation of RC system in Elektra Zagreb are described.

Key words: ripple control, control frequency, ripple control receiver

1. UVOD

Početkom 90-tih godina prošlog stoljeća instalirani MTU sustav u Elektri Zagreb ušao je u treće desetljeće eksploatacije. Podsustav upravljanja je bio zastario (TTL tehnologija), kondenzatorske baterije su sa askarelom a pojedini vezni transformatori u uljnoj izvedbi. U to vrijeme se nastavlja započeta izgradnja novih transformatorskih stanica 110/x kV, koje se interpoliraju u postojeću mrežu 110 kV. Podsustav upravljanja u postrojenjima djelomično je dograđen. Stara TTL tehnologija zamijenjena je prelaznim rješenjima prema procesorskim jedinicama.

U NN mreži je bilo ugrađeno oko 80.000 prijamnika koji u većem dijelu distribucijskog područja upravljaju s tarifama u kućanstvu i javnom električnom rasvjetom.

Kako bi se i dalje omogućilo upravljanje trošilima u mreži pojavljuje se potreba za rekonstrukcijom i dogradnjom postojećeg sustava na srednjem naponu. Alternativa je izgradnja novog sustava na visokom naponu (110kV). Za odlučivanje je bila presudna vrijednost instaliranih MTU prijamnika (> 5 miliona Eur po današnjoj procjeni), a to znači da treba zadržati korištenu upravljačku frekvenciju. Usporedba procijenjene cijene koštanja rekonstrukcije i dogradnje postojećeg sustava na srednjem naponu i izgradnje novog na visokom naponu, dala je prednost izgradnji sustava sa utiskivanjem na visokom naponu.

U Idejnom rješenju izgradnje VN sustava MTU-a, procijenjeno je da treba izgraditi tri jednostruka postrojenja, da se zadrži potpuna redundancija odašiljača, kakva postoji i u postojećem SN sustavu. U stalnom radu moraju biti postrojenja u istočnom i zapadnom dijelu mreže a redundantno postrojenje u točki gdje se mreža razdvaja (u to vrijeme je to bila TS 110/x kV Botinec). U slučaju potrebe, redundantno

postrojenje se može priključiti na jedan ili drugi dio mreže. Optimalno rješenje sustava, po snazi odašiljača, se ne može postići jer treba zadržati postojeću upravljačku frekvenciju. Promjena upravljačke frekvencije zahtijeva zamjenu instaliranih prijemnika i cijena izgradnje bi se višestruko povećala uz veliko ometanje potrošača.

2. ODREDNICE IZGRADNJE MTU SUSTAVA NA 110 KV

2.1. Idejni projekt

Kod prve izgradnje sustava MTU-a na nekom području polazi se od izrade Idejnog projekta koji je skup međusobno usklađenih nacрта i dokumenata kojima se daju osnovna oblikovno funkcionalna i tehnička rješenja građevine te prikaz smještaja građevine u prostoru. Za sustav MTU-a, projekt treba dodatno obuhvatiti: opis tehnološkog postupka s tehnološkim shemama, opis primjene odabrane tehnologije i procjenu troškova radi provedbe postupaka javne nabave.

Ispravan rad sustava MTU-a ovisi o impedancijsko-frekvencijskim karakteristikama mreže. Mreža je dinamički objekt, s obzirom na snagu i konfiguraciju, i njihove promjene izravno mijenjaju karakteristike mreže. Ovisno o promjenama karakteristika mreže mijenja se i razina upravljačkog signala u njenim pojedinim točkama. Sustav je potrebno dimenzionirati tako da tijekom cijelog životnog vijeka zadovoljava postavljeni uvjet razine upravljačkog signala.

Tehnološki proces u sustavu MTU-a je trofazno simetrično utiskivanje impulsa upravljačke frekvencije na valni oblik napona 50 Hz faze (superponiranje upravljačkog napona na napon mreže 50 Hz). Moguće tehnike utiskivanja su paralelna i serijska u odnosu na konzum, što je opisano u literaturi [1].

2.2. Proračun širenja upravljačke frekvencije

Za proračun širenja upravljačke frekvencije izrađuju se jednopolne sheme mreže 110 kV, sa impedancijama svih elemenata mreže (vodovi, transformatori, generatori, kompenzacije, trošila i sl) i to u inačicama koje predviđaju širenje mreže tijekom 15 – 20 godina (životni vijek MTU uređaja).

Mjesto utiskivanja je u pravilu TS 220/110 ili TS 440/110 iz koje se napaja distribucijsko područje, ili njima najbliža TS 110/x u kojoj ima prostora za ugradnju MTU postrojenja.

Područje proizvodnje MTU prijemnika je jedino izravno normirano područje i određeno je u IEC (i CENELEC) normama za elektromagnetsku kompatibilnost i posebnom normom IEC 62054-11: „Posebni zahtjevi za elektroničke MTU prijemnike“. U navedenim normama je utvrđena najviša dozvoljena amplituda harmoničkih sastavnica mreže i MTU upravljačkog signala (međuharmonička sastavnica). Istovremeno navedena IEC norma više ne utvrđuje napon prorade i neprorade prijemnika (povučeni IEC 1037 je određivao 0,5% i 0,3% od napona napajanja).

Za frekvenciju upravljačkog signala odabire se frekvencija iz tablice I. Niska cijena mikroprocesora, zbog masovne proizvodnje, omogućila je realizaciju digitalnog filtera u MTU prijamnicima i postizanje njihove povoljne cijene (cijene modernih prijemnika su danas preko 60% niže). Digitalni filter je omogućio i sigurno korištenje svih frekvencija koje su višekratnik konstante 8,3333, osim harmoničkih sastavnica.

U tablici I. su prikazane maksimalne efektivne vrijednosti napona harmoničkih sastavnica i upravljačkog napona MTU-a, kako su utvrđene u normama. Za potrebe članka tablica je skraćena samo na frekvencije primijenjene u izgrađenim VN sistemima. Budući je RH članica CENELEC-a i doneseno je niz zakonskih akata o normizaciji, utvrđene vrijednosti veličina iz niza normi moraju biti zadovoljene i u proračunima. Kod proračuna i preuzimanja MTU sustava, posebno treba obratiti pozornost na zahtjeve iz normi o kvaliteti električne energije.

Signirane upravljačke frekvencije su frekvencije koje preporuča za primjenu njemačka udruga distributera VDEW još iz vremena elektromehaničkih MTU prijemnika.

Tablica I. Maksimalna vrijednost upravljačkog napona i harmoničkih sastavnica mreže

N	Hz	U _{max}	N	Hz	U _{max}	N	Hz	U _{max}
6	50,00	100,00%	24	200,00	1,50%	30	250,00	8,00%
18	150,00	7,00%	25	208,33		31	258,33	
19	158,33		26	216,67	3,77%	32	266,67	
20	166,67		27	225,00		33	275,00	
21	175,00		28	233,33		34	283,33	4,23%
22	183,33	3,53%	29	241,67		35	291,67	
23	191,67		30	250,00	8,00%	36	300,00	1,00%
24	200,00	1,50%	Konstanta: 50/6=8,3333			IEC 62054-11(2004)		
						U _{max} =Uf(8+(7(f _s -250)/500))		

2.3. Odabir tehničkog rješenja MTU postrojenja

Za utiskivanje upravljačkog signala u mrežu 110 kV se zbog praktičnosti koristi paralelna veza [1], jer omogućuje priključenje na sabirnice 110 kV preko uobičajenog spojnog polja i u slučaju havarije se može isključiti bez utjecaja na snabdijevanje područja električnom energijom.

Statički generator se sastoji od više jedinica spojenih u paralelu, što se jednostavno koristi za redundanciju snage pretvarača, ugrađivanjem barem jedne dodatne jedinice. Dodatna jedinica osigurava i povećanje izlazne snage kada dođe do proširenja mreže. Najveća dozvoljena snaga je određena parametrima veznog filtera.

Vezni filter predstavlja dva serijska rezonantna kruga međusobno induktivno povezana. Visokonaponski krug se priključuje na mrežu a niskonaponski na statički generator. Oba kruga su tvornički ugođena na odabranu upravljačku frekvenciju. Ovaj dio postrojenja je najosjetljiviji dio za dimenzioniranje. Dimenzionira se za određenu upravljačku frekvenciju i snagu MTU signala te naponsku razinu mreže i kasnije promjene nisu moguće. Vezni filter MTU postrojenja s paralelnom vezom je kapacitivni element u mreži 110 kV i ima određeni utjecaj [5], kojeg treba razmotriti.

3. IZGRAĐENA 110 KV MTU POSTROJENJA

Prvo postrojenje je instalirano u Elektrodalmaciji Split (ugovoreno 1998., isporučeno 1999. i u pogonu od 2002. godine) u TS 220/110/x kV Vrboran. Za mjesto ugradnje je odabrana TS Vrboran u kojoj treba biti transformacija 220/110 kV. Proračunom je određena frekvencija 216,67 Hz (217 Hz) i drugo postrojenje, u početku kao potporno, a potrebno kad se mreža poveća u TS 110/x kV Kraljevec. Tijekom isporuke je obavljena revizija proračuna i promijenjena je frekvencija na 208,33 Hz. Postrojenje je ugrađeno u radijalnu 110 kV mrežu i dobiveni su izvrsni rezultati rada. Postrojenje praktično predstavlja ekvivalent za preko 25 SN postrojenja i izvedeno je u redundanciji 3 od 4 statička pretvarača.

Drugo postrojenje je instalirano u Elektri Zagreb (ugovoreno 2001., isporučeno 2002. i u pogonu od 2004. godine) u TS Botinec [2]. Postrojenje zamjenjuje stara SN postrojenja na 283,33 Hz i pokriva upravljačkim signalom konzume TS 110/x kV u kojima nisu bila instalirana MTU postrojenja. Na temelju zadane upravljačke frekvencije (koja nije optimalna za VN mrežu), i zakonske regulative (kvaliteta električne energije) određena je maksimalna dozvoljena snaga u točki utiskivanja, prema kojoj su dimenzionirani dijelovi postrojenja. Tijekom izgradnje promijenjena je i topografija mreže [3]. Postrojenje je ugrađeno u petljastu 110 kV mrežu. Do punog izražaja će doći izgradnjom novog postrojenja u TS Dubec.

Treće postrojenje je instalirano u Elektroprimorju Rijeka (ugovoreno 2005., isporučeno 2006. i u pogonu od 2007. godine) u TS Krasica. Postrojenje zamjenjuje stara postrojenja sa serijskim utiskivanjem, zbog čega je zadržana frekvencija 216,67 Hz i pokriva novo distribucijsko područje Elektrolike.

Četvrto postrojenje je instalirano u Elektri Zagreb (ugovoreno 2008, isporučeno 2008 i u pogonu od 2009. godine) u TS Dubec. Prvenstveno zbog održavanja, postrojenje je izgrađeno prema parametrima prvog postrojenja u TS Botinec. Rezultati sinkronog rada oba postrojenja opisani su u nastavku.

4. MREŽA 110 kV NA PODRUČJU ELEKTRE ZAGREB

Mrežu 110 kV područja Elektre Zagreb treba promatrati u sklopu VN mreže sjeverozapadnog dijela HEP-a (Prijenosno područje Zagreb), prikazane na slici 1.



Slika 1. VN mreža

S obzirom na mrežno tonfrekvencijsko upravljanje uočljivo je da je mreža izrazito petljaste konfiguracije i da obuhvaća više distribucijskih područja.

MTU sustavi na SN razini postoje u distribucijskim područjima Elektre Zagreb, Elektre Čakovec, Elektre Varaždin i Elektre Koprivnica, dok na područjima Elektre Karlovac, Elektre Sisak i Elektre Zabok nema instaliranih sustava. U Zagrebu i Čakovcu se koristi jednaka upravljačka frekvencija.

4.1. Sinkronizacija rada postrojenja MTU-a u mreži

U petljastoj mreži postrojenja MTU-a moraju sinkrono utiskivati upravljački signal u mrežu, jer u suprotnom dolazi do interferencija i neispravnog rada prijamnika. Upravljački signal (poruka, telegram) sastoji se od vremenskog rasporeda impulsa upravljačke frekvencije. Ako dođe do interferencije impulsa ili interferencije oscilacija upravljačke frekvencije, prijamnik neće ispravno vrednovati primljene jedinične informacije (telegram, poruka), odnosno može primiti signal ispod praga prorade.

U procesu sinkronizacije provodi se:

- sinkrono priključenje svih postrojenja na mrežu, pri tome nije nužno da redoslijed faza postrojenja MTU-a (L1-L2-L3) odgovara redoslijedu faza mreže
- fazna sinkronizacija osciliranja svih MTU postrojenja, izvodi se preko GPS-a ili pilot frekvencije uz mogućnost podešenja ± 180 el.stupnjeva
- sinkronizacija upravljačkog signala (poruke, telegrama).

5. SUSTAV MTU-a U ELEKTRI ZAGREB

Sustav mrežnog tonfrekvencijskog upravljanja u Elektri Zagreb se sastoji od:

- glavnog upravljačkog centra instaliranog u dispečerskom centru i preko LAN-a uključenog u SCADA & DMS sustav
- dva jednaka postrojenja za utiskivanje na 110 kV-tnoj razini
- tri SN postrojenja (sinkronizirana u sustav i nalaze se u „STAND BY“ režimu rada
- sustava komunikacije između glavnog upravljačkog centra i postrojenja.

5.1. Postrojenje MTU-a

Postrojenje MTU (dio instaliran u TS 110/x kV) se sastoji od generatora upravljačke frekvencije i veznog filtera koji služi za prilagođenje generatora na mrežu. Oba instalirana postrojenja su identična.

Vezni filter je na temelju proračuna potrebne snage upravljačkog signala u mjestu utiskivanja (uz prije navedena ograničenja), slijedećih karakteristika:

- trajna VN struja: 28,7 A (50 Hz)
- max. NN struja: 1100 A (283,3 Hz)
- max VN struja: 160 A (283,3 Hz)
- intermitencija rada: 4% (standardna).

Za druge upravljačke frekvencije vezni filteri su različiti po karakteristikama i sastavnim dijelovima (vezni transformator, kondenzatori).

U generator upravljačke frekvencije su ugrađene i paralelno spojene četiri jedinice statičkih pretvarača (s IGBT sklopkama) slijedećih karakteristika:

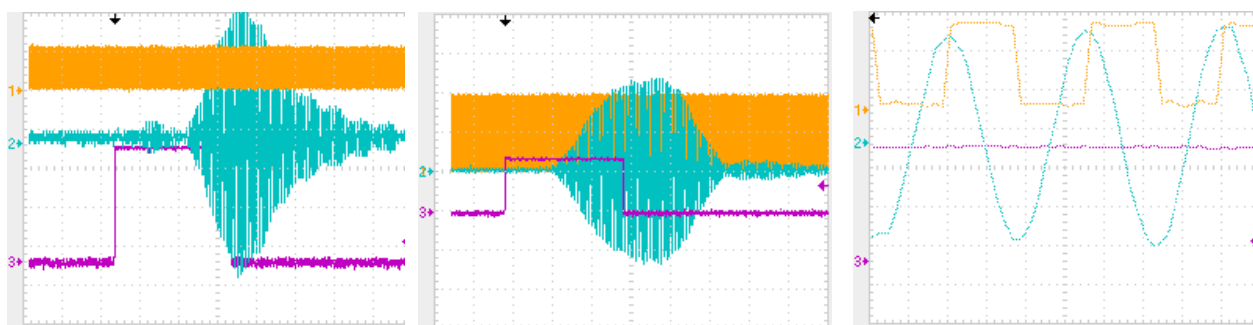
- impulsna snaga: 400 kVA
- frekvencija signala: podesiva
- intermitencija rada: 4% (standardna)
- nazivna struja: 580A (283,33 Hz)
- izlazni napon: max 1000 V (podesiv u 7 stupnjeva).

Za postizanje pune izlazne snage upravljačkog signala dovoljna su tri statička pretvarača, tako da je izborom konfiguracije s četiri pretvarača osigurana redundantnost u radu. Identični pretvarači su instalirani u sva četiri MTU postrojenja, jer je upravljačka frekvencija podesiva kroz programsku podršku.

5.2. Sinkronizacija rada postrojenja

Sinkronizacija faze upravljačke frekvencije, prikazana je na oscilogramima na slici 2. Oscilogrami prikazuju signale:

- (kanal 1) signal sinkronizacije iz GPS-a
- (kanal 2) filtrirani impuls u mreži preko naponskog mjernog transformatora 110/0,1 kV
- (kanal 3) impuls (150 ms) upravljačkog signala iz lokalnog upravljačkog centra u postrojenju instaliranom u TS Dubec.



a) nesinkronizirani rad

b) sinkronizirani rad

c) sinkronizirani rad

Slika 2. Oscilogrami upravljačkog impulsa u VN mreži

Na oscilogramu a) prikazano je početno stanje (baza 50 ms/cm), upravljački signal je izobličen uslijed interferencije signala iz drugog postrojenja. Oscilogram b) prikazuje stanje nakon sinkronizacije (kašnjenje signala u mreži je posljedica kašnjenja analognog izlaza iz digitalnog impulsnog selektivnog voltmetra). Oscilogram c) prikazuje iste signale ali kod 1 ms/cm.

Utjecaj petljaste mreže i nesinkronizacije upravljačkog signala (telegrama), vidljiv je iz rezultata mjerenja struje i napona impulsa upravljačkog signala u VN mreži. Primjer prikazuje krajnju situaciju, kod koje je mreža 110 kV razdvojena na sabirnicama u TS 110/x kV TE-TO i postrojenje MTU-a u TS

110/x kV Botinec nije aktivirano. Rezultati su prikazani u tablici III i pokazuju da se struja povećala cca 25% kako bi se zadržala naponska razina upravljačkog signala. Povećanje struje pokazuje da postoje i drugi spojevi između MTU postrojenja u mreži 110 kV, a ne samo preko TS TE-TO. Iz slike 1. može se zaključiti da je spoj preko rasklopišta Jertovec i preslikavanje preko nadređene 220 kV i 440 kV mreže. Preslikavanje preko nadređene mreže pokazuje i izmjereni signal na 110 i 220 kV u TS Mraclin koji je gotovo jednak.

Tablica II. Naponi i struje kod nesinkroniziranog upravljačkog signala

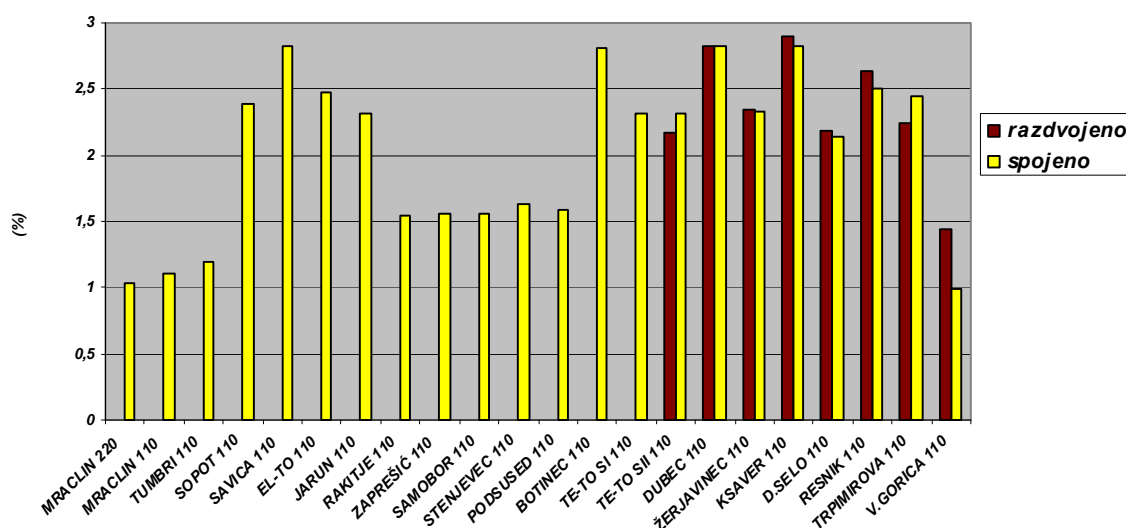
Struja (A)	Napon (%)	Opaska
112	2,84	aktivna oba postrojenja
141	2,91	aktivan samo MTU DUBEC

5.3. Rezultati mjerenja

Mjerenje širenja signala, kod sinkroniziranih postrojenja, je provedeno u lipnju 2009. za spojenu mrežu i u srpnju 2009. za razdvojenu mrežu. Razmak od mjesec dana je posljedica radova u mreži koji su se u međuvremenu obavljali i nisu dozvoljavali promjenu uklopnog stanja.

Za mjerenje je korišten digitalni selektivni impulsni voltmetar sa analognim izlazom. Preko analognog izlaza je sniman oscilogram impulsa upravljačkog signala, za provjeru sinkroniziranost postrojenja.

Tablica III. Grafički prikaz vrijednosti upravljačkog napona u 110 kV mreži

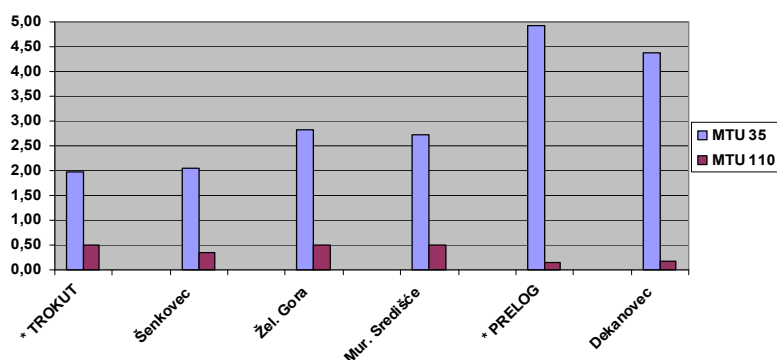


Izmjerene vrijednosti upravljačkog signala na SN sabirnicama su jednake vrijednostima koje su prisutne kod rada SN postrojenja.

5.4. Utjecaj na druga distribucijska područja

Tijekom ispitivanja i sinkronizacije postrojenja uočene su smetnje u radu sustava MTU-a u Elektri Čakovec, veliki broj prijarnika u mreži nije prorađivao. Obavljena mjerenja su pokazala preslikavanje upravljačkih impulsa iz sustava u Zagrebu. TS-e označene s * su mjesta utiskivanja MTU signala u SN mrežu. Postrojenja MTU-a u TS Trokut i TS Prelog su sinkronizirana.

Tablica IV. Grafički prikaz vrijednosti upravljačkog napona u SN mreži Elektre Čakovec



Rješenje problema je sinkronizacija upravljačkog signala (telegrama), što zbog različitog sadržaja nije moguće. Privremeno rješenje je nađeno u desinkronizaciji vremena utiskivanja a za trajno rješenje postoje dva rješenja. Prvo i najskuplje je ugradnja zapornih filtera, a drugo je izrada namjenske programske podrške za lokalne upravljačke centre koja će u slučaju ustanovljavanja smetnje, automatski ponoviti utiskivanje.

6. KORIŠTENJE MTU-a U PRAKSI

Tehnologija mrežnog tonfrekvencijskog upravljanja je jednosmjerno prenošenje upravljačkih informacija koje se centralno generiraju prema zahtjevima iz sustava SCADA&DMS, u cijelu elektroenergetsku mrežu. Sustav se prvenstveno koristi za upravljanjem potrošnjom i to prostorno (adresiranjem prijarnika) i vremenski (iz glavnog upravljačkog centra).

Sustav MTU-a je skup međusobno povezanih različitih tehničkih uređaja: glavnog upravljačkog centra, postrojenja (odašiljača) i MTU prijarnika. Glavni upravljački centar i postrojenja komuniciraju koristeći određene komunikacijske protokole. Odašiljačka postrojenja u mrežu utiskuju upravljački signal (poruku, telegram) koji prenosi informacije do svih MTU prijarnika u mreži, te se u ovom dijelu obavlja jednosmjerna komunikacija [4].

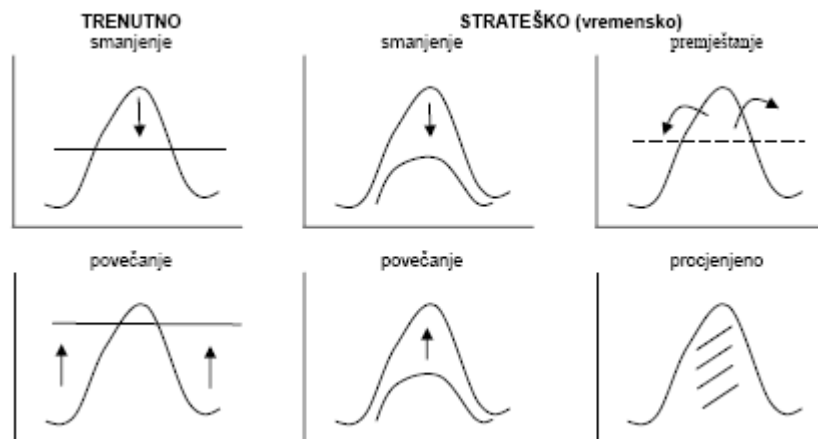
Uopćeno u sustavu MTU-a se može razlikovati fizička i aplikacijska razina. Fizička razina je normirana, što znači da su utvrđene električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike ali i jedinične informacije koje se prenose na fizičkoj razini. Standardiziranje karakteristika omogućuje sigurno korištenje uređaja različitih proizvođača. Aplikacijska razina pruža usluge korisniku i u pravilu koristi vlastiti protokol.

U sustavu MTU-a, fizičkoj razini pripadaju MTU prijarnici (kojih u svakom sustavu ima nekoliko desetaka tisuća) i upravljački signal (kao jedinična informacija: poruka, telegram) kojeg generira MTU postrojenje, a što je utvrđeno u normi IEC 62054-11: Posebni zahtjevi za elektroničke MTU prijarnike. Kod modernih sustava, koji zbog povećanja pouzdanosti koriste funkciju preprogramiranja prijarnika, nakon toga prijarnik radi kao uklopni sat, susrećemo se i sa aplikacijskom razinom jer se paralelno koriste i vlastiti protokoli.

Pozitivni efekt primjene MTU-a za distributera i potrošača je istovremeno i vremenski točno uključivanje tarifa i upravljanje potrošnjom (npr. javna rasvjeta) u cilju racionalne potrošnje energije. Posebna korist za distributera je u upravljanju s jednog mjesta, što omogućuje:

- prilagođavanje promjeni tarifnog režima rada s jednog mjesta
- upravljanje trošilima i napravama u mreži (termika, kompenzatori i sl.)
- dodatne funkcije (isključivanje potrošača, sinkronizacija javnih satova, resetiranje brojila i sl.).

Svi troškovi izgradnje i održavanja sustava MTU-a su na distributeru [6], te je za očekivati da će se sve više sustav koristiti u upravljanju potrošnjom kako bi se smanjili gubici i ulaganja u mrežu [7]. Na temelju mjerenja iz SCADA&DMS sustava, mogu se generirati zahtjevi koji utječu na krivulju opterećenja mreže. Na raspolaganju je trenutno i strateško upravljanje trošilima, prikazano na slici 3.



Slika 3. Upravljanje krivuljom opterećenja mreže

7. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana sinkronizacija rada MTU postrojenja priključenih na petljastu mrežu, kada je interferencija signala sigurna pojava i ovisna o konfiguraciji mreže. U Elektri Zagreb je na sustavu MTU-a uspješno provedena sinkronizacija postrojenja priključenih na različite naponske razine (110 kV, 30 kV, 20 kV i 10 kV) i izvedenih u različitim tehnologijama (statički pretvarači s tranzistorima i tiristorima). Za uspješnu sinkronizaciju bilo je potrebno u stara postrojenja ugraditi nove lokalne upravljačke centre i GPS uređaje.

Zadržavanje upravljačke frekvencije pogodne za utiskivanje na srednjem naponu i ugradnja postrojenja u TS 110/x kV u kojima je to jedino moguće, nisu omogućile projektiranje optimalne izvedbe

VN sustava mrežnog tonfrekvencijskog upravljanja. Tijekom izgradnje izvršene su velike promjene konfiguracije VN mreže, tako da će sustav biti u punoj funkciji tek izgradnjom i trećeg postrojenja predviđenog u TS TE-TO.

Promjene u navedenoj normi za MTU prijamnike u dijelu slobodnog dogovaranja napona prorade i neprorade, treba promatrati sa stanovišta utjecaja harmoničkih sastavnica na upravljačku frekvenciju i vrijednosti signala kao međuharmonika. Prema iskustvenim podacima napon neprorade treba zadržati na 0,3% a vrijednost napona prorade izravno utječe na snagu odašiljača koja određuje iznos signala u mreži. Odabir višeg napona prorade u pravilu ima za posljedicu mogućnost korištenja jeftinijih prijamnika (ulazni filter s manjim gušenjem) ali će se s vremenom pojaviti problem „zagađenja“ mreže upravljačkim signalom i neudovoljavanje normama o kvaliteti električne energije. S obzirom na ugrađene prijamnike i iskustvo iz eksploatacije dobro bi bilo zadržati vrijednost napona prorade na 0,5% napona napajanja.

Nakon puštanja u pogon postrojenja u TS Dubec, cijelo područje Elektre Zagreb je pokriveno MTU signalom i tijekom šestomjesečnog rada sustav je ispravno funkcionirao i nisu uočene potrebe za resinkronizacijom rada. Uočena je ovisnost o uklopnom stanju mreže tako da kod isključenja nekih dalekovoda upravljački signal može i sasvim nestati, zbog toga su određena nužna uklopna stanja mreže. Nadzor rada sustava se obavlja trajnim mjerenjem efektivne vrijednosti upravljačkog signala u nizu mjernih točaka u mreži i rezultati se unose u SCADA&DMS sustav.

LITERATURA

- [1] D. Bandl, „Razvoj sustava MTU“, 3. savjetovanje HO CIGRE, Zbornik radova, Cavtat 1997, R35-03
- [2] D. Bandl, Ž. Bubanko, Š. Stopfer, „Izgradnja 110kV MTU sustava u DP Elektra Zagreb“, 6. simpozij o sustavu vođenja EES-a, Zbornik radova, Cavtat 2004., referat 4-21
- [3] Švarc, Grujić, Pracaić, „Utjecaj sekcioniranja prijenosne 110 kV mreže na sigurnost napajanja zagrebačkog područja“, Zbornik radova, 7. savjetovanje HO CIGRE, Cavtat 2005, C2-17

- [4] D. Mišković, D. Bandl, V. Mošnja, „MTU tehnički sustav za upravljanje potrošnjom“, Časopis TECHNE broj 10, Pula 2007, str. 40 - 44
- [5] Z. Jadrijević, S. Cvjetković, G. Majstović, „Utjecaj 110 kV MTU postrojenja na vođenje elektroenergetskog sustava, 9. savjetovanje HO CIGRE, Cavtat 2009, C2-26
- [6] K. Šimleša, B. Krstulja, „Troškovi masovnog upravljanja tarifama uz pomoć MTU sustava“, 1. savjetovanje CIRED, Šibenik 2008, SO6-17
- [7] K. Cerovac, D. Papandopulo, D. Bandl, „Sustav za upravljanje trošilima“, 1. savjetovanje HO CIGRE, Zagreb 1993, R39-05