

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

110 GODINA MREŽNOG TONFREKVENTNOG UPRAVLJANJA

SAŽETAK:

Mrežno tonfrekventno upravljanje (MTU) je u uporabi već 110 godina. Danas je to najjeftiniji način fleksibilnog upravljanja tarifama i javnom rasvjetom. MTU sustav je robustan, jednostavan i učinkovit. Domaća proizvodnja elemenata MTU sustava je prisutna značajnim udjelom proizvoda i tehnologije i na domaćem i stranom tržištu.

Posljednje desetljeće je obilježeno pojavom novih vrsta prijemnika pete i šeste generacije te intenziviranja zahtjeva tržišta električne energije za fleksibilnijim i točnijim tarifiranjem na teret troška vršenja javne usluge.

Ključne riječi: mrežno tonfrekventno upravljanje, vektorski dijagram, troškovi.

110 YEARS OF RIPPLE CONTROL SYSTEM

SUMMARY:

Ripple control system (RCS) has been in use for already 110 years. Today it is the most cost effective way of flexible tariff and public lighting management. The ripple control system is robust, simple and efficient. It is widely used in the utility sector worldwide but it is necessary to emphasise that Croatian industry is significantly present in the research and production of RCS products and technology.

The last decade has been especially active and interesting due to the introduction of fifth and sixth generation of ripple control receivers and intensive electricity market / consumer demand for flexible and accurate tariff management.

Key words: ripple control system, vector diagram, costs.

1. UVOD

31.12.1899. Cesar Rene Loubery je prijavio patent sustava telekomande koji je usvojen marta 1901. godine a kojim se, za prijenos komandi u jednom smjeru, koriste postojeći vodovi električne energije uz istovremenu neometanu isporuku električne energije potrebite za pogon električnih strojeva u industriji i domaćinstvu poput elektromotora, grijala, svjetiljki i slično. Danas se za takvo masovno prenošenje komandi koriste nazivi: Rundsteuerung, Ripple control i mrežno tonfrekventno upravljanje (MTU) ili mrežna tonfrekventna komanda (MTK).

Sistem je realizirao ideju tako da se informacijski signal upravljanja odašilje (utiskuje, šalje) u jednoj pogodnoj točki elektroenergetske mreže, potom se on širi po cijeloj mreži tako da se može primati i funkcionalno koristiti u svim, pa i krajnjim, točkama mreže i istovremeno i ravnopravno bez mogućnosti narušavanja privatnosti prostora kupca.

Optimiranje sustava je učinjeno korištenjem jednog odašiljača i brojnih prijemnika koji se ugrađuju na mjestima gdje je potrebno ostvariti funkciju upravljanja na daljinu. Drugo bitno tehnološko optimiranje je realizirano jednosmjernim načinom komuniciranja koje je bitno jeftinije od dvostranog načina komuniciranja još i danas.

Na dijelu elektroenergetske mreže gdje se ne koristi ovo upravljanje svuda prisutni upravljački signali nemaju štetne učinke na trošila koja ih ne koriste niti uzrokuju dodatne gubitke električne energije u mreži. Bitan aspekt korištenja elektroenergetske mreže za prijenos informacija uz pomoć MTU-a je i činjenica da operator distribucijskog sustava (koji je i vlasnik iste mreže) nema izdataka, troškova, za korištenje frekvencije (medija primjerice etera za RTV) kakve troškove primjerice imaju radio, televizija i GSM ili zakup telefonske mreže kada se radi o žičnoj telefoniji.

Sustav mrežne tonfrekventne telekomande je po definiciji jednosmjernan, namijenjen upućivanju komandi u smjeru od odašiljača ka mnogobrojnim prijemnicima. Povratne izravne informacije od prijemnika, o stanju izvršenja komande, ka centrali nema jer bi za to bio potreban novi dodatni odašiljač u svakom prijemniku što bi znatno poskupljivalo i usložnjavalo sustav. Praksa je pokazala da je pouzdanost izvršenja tele-komande MTU-a u jednom smjeru tako visoka da za potrebe funkcija masovnog upravljanja, za koje se koristi tarifa, javna rasvjeta i upravljana potrošnja, povratna informacija o izvršenju komande svakog prijemnika i nije nužna pa niti potrebna.

Iz istog vremenskog razdoblja datiraju i druge ideje masovnog korištenja jednosmjernog toka informacija poput ideje radija i ideje televizije koje se učinkovito koriste i danas ali za druge namjene kao što su prijenos slike i govora a za potrebe javnog i masovnog informiranja.

Prvotna ideja mrežnog tonfrekventnog upravljanja je realizirana na način da je svaka upravljačka funkcija, komanda, izvedena uz pomoć različite frekvencije za različitu komandu (multi-frekvencijski sustavi), dok se današnji sustavi uobičajeno realiziraju korištenjem MTU signala jedne frekvencije koji se impulsno modulira tastovanjem čime se formira telegram manje ili više složenog sadržaja (jednofrekventni sustavi), pri čemu se koristi princip različitih adresa za različite komande. Jedan takav telegram obično traje 15 do 60 sekundi.

Prvotna ideja da svi prijemnici jednovremeno i ravnopravno primaju i izvršavaju istu komandu u istoj elektroenergetskoj mreži očuvana je do danas. Tako je MTU sustav i danas atraktivan za izvođenje masovnih sinkroniziranih energetske funkcije (komandi) potrebnih operatoru distribucijskog sustava pri obavljanju javne usluge. Procjenjuje se da se u svijetu danas koristi preko 20.000.000. MTU prijemnika a taj broj je i danas u porastu.

2. PRINCIP MODULACIJE U MREŽNOM TONFREKVENTNOM UPRAVLJANJU

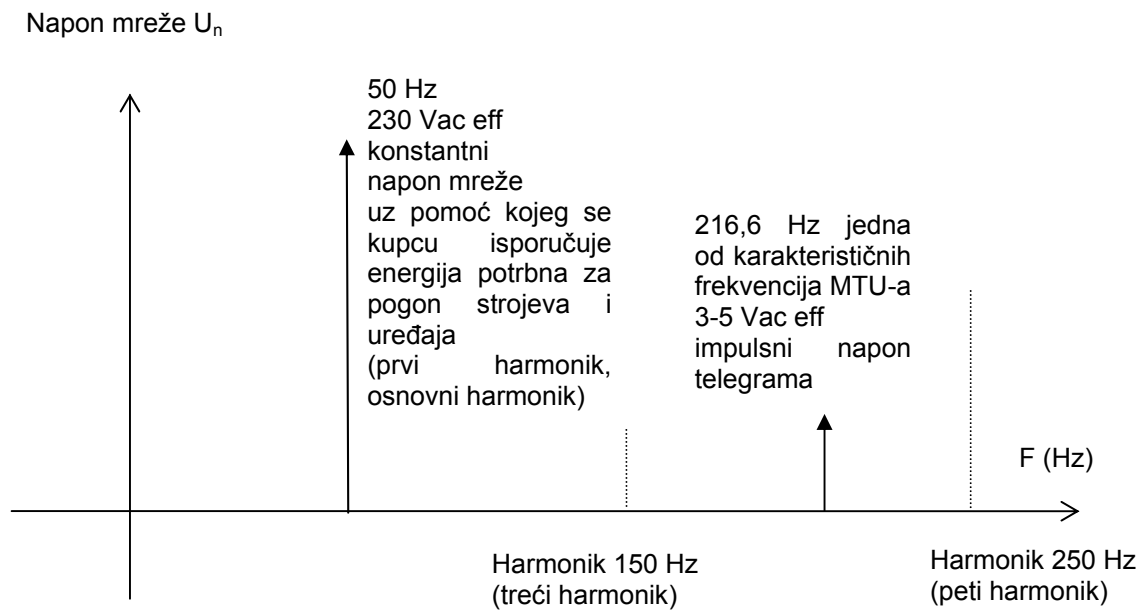
Za rad mrežnog tonfrekventnog upravljanja danas se koristi jedna za svaki sustav karakteristična frekvencija. Izbor frekvencije je obično rezultat studije frekventne karakteristike energetske mreže temeljem dugoročnih planova razvoja mreže, nasljeđa i utjecaja susjednih mreža i njihovih eventualnih signala. Načelno frekvencija MTU sustava se bira na mjestu međuharmonika mrežne frekvencije rasterom pomaka često 16,6 ili 8,3 ili 4,1 Hz i rjeđe proizvoljnim pomakom 10, 20, 30 Hz. Signal se utiskuje u mrežu na paralelni ili serijski način a razina signala je relativno mala i iznosi od 1% do 3% nazivnog napona mreže.

Primjerice za formiranje signala mrežnog tonfrekventnog upravljanja koji u mreži iznosi cca 2% U_n na mreži snage 40 MVA potreban je primjerice odašiljač impulsa snage cca $S_{mtu}=40$ kVA, a za formiranje signala mrežnog tonfrekventnog upravljanja iste razine 2% U_n na mreži snage 400 MVA potreban je odašiljač impulsa snage cca 400 kVA.

U trofazne simetrične distribucijske mreže svih naponskih razina utiskuje se trofazni simetrični signalni napon MTU-a, kao što je prikazano na vektorskom dijagramu na slijedećoj strani, i koji se uspješno transformira na nižu naponsku razinu.

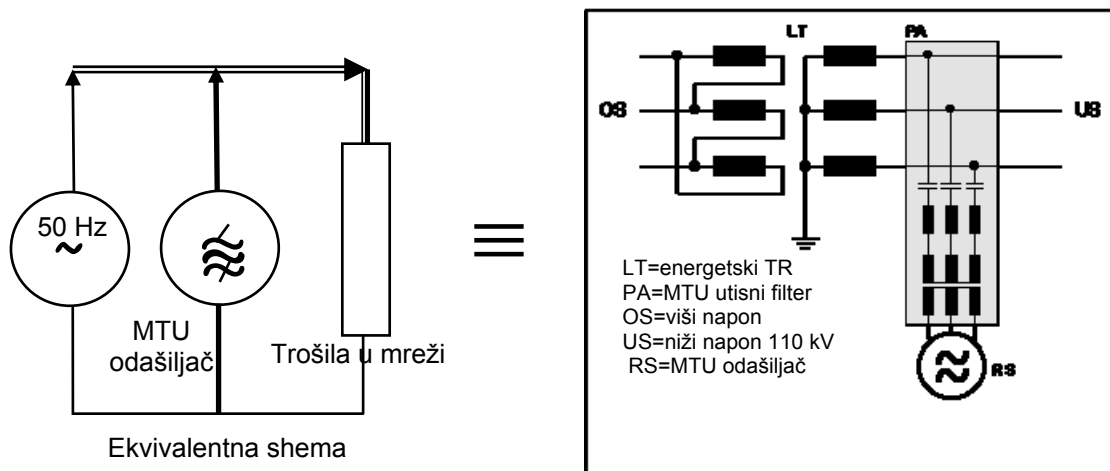
Kada se u trofaznu simetričnu mrežu utiskuje homopolarni signal mrežnog tonfrekventnog upravljanja onda se on zadržava u toj mreži i ne prelazi na drugu naponsku razinu radi velikog slabljenja na trofaznim trostupnim transformatorima te se ovaj princip često primjenjuje za manje mreže na niskom naponu.

Frekvencija signala mrežnog tonfrekventnog upravljanja se načelno bira tako da bude različita od nazivne frekvencije mreže (50 Hz) i frekvencije njenih harmonika ($n \times 50$ Hz) te se pozicionira u frekventni prostor međuharmonika kao na slici niže. Razina signala MTU-a je slična razinama harmonika osnovne frekvencije $U(n \times 50\text{Hz})$ ne prelazeći 5%.

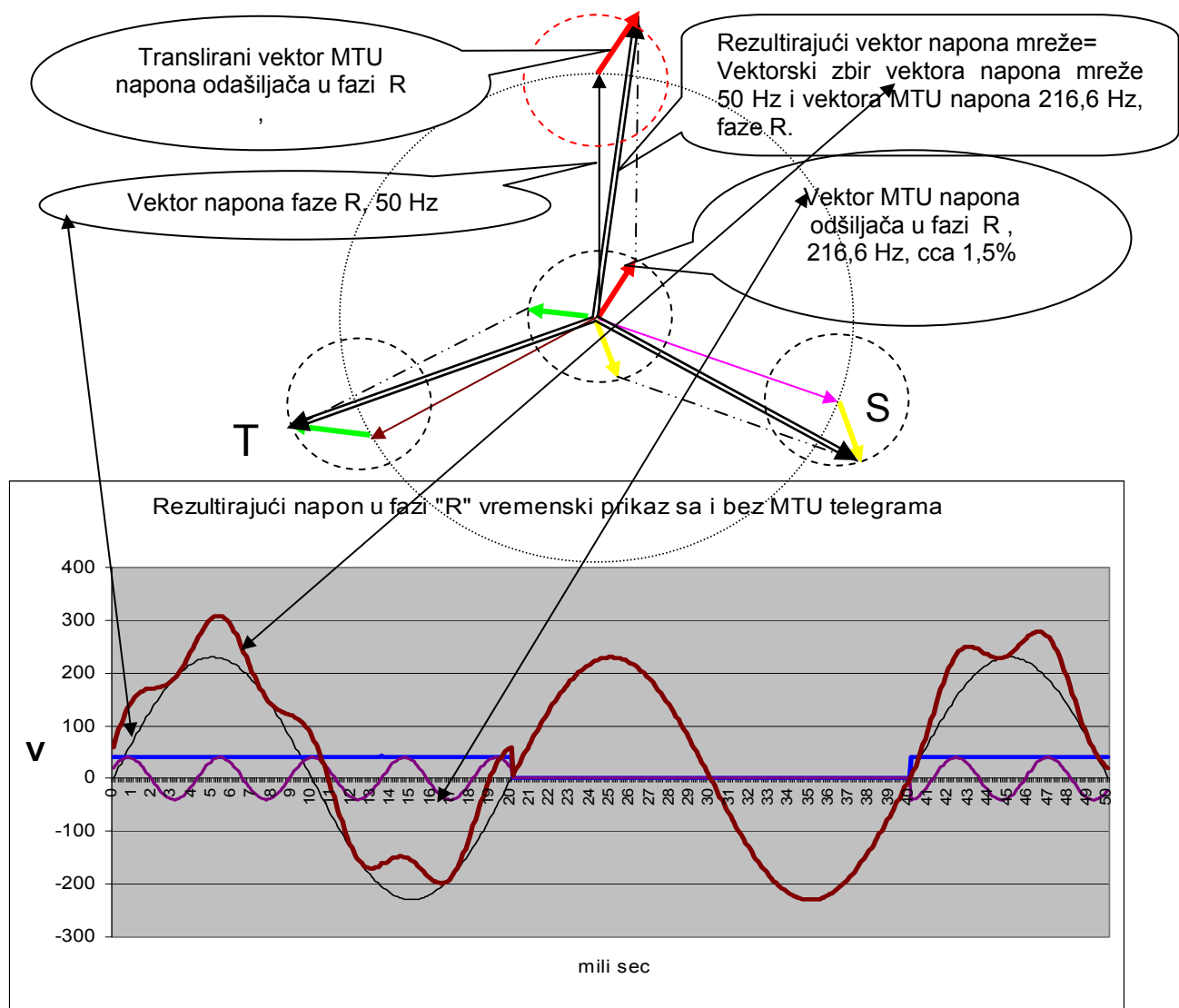


Slika 1. Primjer frekventnog plana MTU signala

Položaj i njihov međusobni odnos, sinusnih komponenti napona mreže u frekventnoj domeni.



Slika 2. Princip paralelnog utiskivanja MTU signala u elektrodistribucijsku mrežu:



Slika 3. Vektorski prikaz simetričnog MTU signala utisnutog u elektrodistribucijsku mrežu

3. PRIJEMNICI MREŽNOG TONFREKVENTNOG UPRAVLJANJA

Prijemnici mrežnog tonfrekventnog upravljanja su se tijekom duge povijesti proizvodnje i uporabe nekoliko puta mijenjali, usklađivali sa suvremenim stanjem tehnologije. Tako razlikujemo šest generacija MTU prijemnika. Prijemnici prve generacije su bili elektromehanički sa sinkronim motorčićem. Prijemnici druge generacije su bili tranzistorski sa LC filterom. Prijemnici treće generacije su bili elektronički sa operacionim pojačalom 741 i digitalnim integriranim krugovima niskog stupnja integracije. Prijemnici četvrte generacije su elektronički sa analognim filterom realiziranim uz pomoć SC (Switch capacitors) i digitalnog mikro procesora. Prijemnici pete generacije su digitalni realizirani signal procesorom i digitalnim filterom a komunikacijski protokol se prilagođava daljinskom parametriziranju i standardizira kao DIN 43861-301/302. Prijemnici šeste generacije su virtualni prijemnici koji se dodaju broju električne energije kao programski firmware rabeći ostatak resursa mikroprocesora brojila. Prijemnicima pete i šeste generacije za svakodnevne vremenski fiksne funkcije poput upravljanja tarifama nije svakodnevno potreban odašiljač MTU signala, on im je za takvu funkciju nužno potreban jedan puta godišnje ili još rjeđe za daljinsku sinkronizaciju vremena svih prijemnika (jednim telegramom) kao i onda kada se mijenjaju tarifni pravilnik i tarifna vremena (za daljinsku parametrizaciju uklopnih vremena, nekoliko telegrama), što se iskustveno događa jedan puta u osam do deset godina. Tako MTU sustav postaje operativniji za žurne funkcije poput regulacije opterećenja upravljanoj potrošnjom za koju je potrebo 3 do 5 telegrama u 15 minutnoj mjernoj periodi u kojoj se obračunava maksimalna radna snaga.

Danas se prijemnici MTU-a proizvode u paleti različitih kućišta koja su dobro prilagođena krajnjoj namjeni. Razlikujemo prijemnike u zasebnom kućištu i prijemnike ugrađene u kućište drugog uređaja (primjerice brojila, ili 63A sklopnika za upravljanu potrošnju).

4. ODAŠILJAČI MREŽNOG TONFREKVENTNOG UPRAVLJANJA

Odašiljači mrežnog tonfrekventnog upravljanja se koriste na niskom naponu za male energetske mreže sa cca 100-200 kupaca, na srednjem naponu za srednje elektroenergetske mreže sa cca 5.000-20.000 kupaca i na visokom naponu za velike elektroenergetske mreže sa cca 100.000-300.000 kupaca. Izbor naponske razine odašiljanja MTU signala je tehno-ekonomsko pitanje koje se razmatra za svaki slučaj zasebno sa ciljem postizanja investicijskog i funkcionalnog optimuma. Stanje tehnike danas je takvo da jedan odašiljač na visokom naponu funkcionalno zamjenjuje 10 do 20 sredjenaponskih odašiljača a jedan odašiljač na visokom naponu košta kao 4-5 sredjenaponskih odašiljača [L2]. Utisni filteri se izrađuju kao serijski ili kao paralelni utisni filteri približno slične cijene.

5. TROŠKOVI SUSTAVA MREŽNOG TONFREKVENTNOG SUSTAVA

Sustav mrežnog tonfrekventnog upravljanja je integriran u mrežu distributera električne energije ili prijenosa ako se radi o visokom naponu tako da nema troškova za korištenje mreže za prijenos podataka. Značajni troškovi sustava su investicijski i operativni. Investicijski troškovi su sljedeći:

- 1) Nabavka i ugradnja odašiljača,
- 2) Nabavka i ugradnja centralne upravljačke jedinice i komunikacijskih putova ka odašiljačima,
- 3) Nabavka i ugradnja brojnih prijemnika, zamjene za uklopne satove.

Operativni troškovi su sljedeći:

- 1) Troškovi potrošnje električne energije za rad odašiljača, trošak poslovanja,
- 2) Troškovi potrošnje električne energije za rad prijemnika, vlastita potrošnja uređaja koja ide na račun gubitaka mreže,
- 3) Troškovi sistem inženjera,
- 4) Troškovi otkaza prijemnika,
- 5) Troškovi održavanja centrale i odašiljača.

Uzimajući u obzir sve pobrojane troškove jedan sustav sa odašiljačem na visokom naponu i cca 200.000 kupaca a na bazi uporabe 20 godina ima sljedeće godišnje troškove po kupcu:

- 1) Svi troškovi odašiljača, centrale i djelatnika 1€/godišnje po kupcu,
- 2) Svi troškovi prijemnika u zasebnom kućištu i djelatnika 5€/godišnje po kupcu,
- 3) Svi troškovi prijemnika integriranog u kućištu brojila i djelatnika 1€/godišnje po kupcu,

Obzirom na slične troškove koje imaju drugi sustavi telekomande i na neke njihove dodatne troškove danas je MTU sustav komparativno daleko najjeftiniji i najkompatibilniji sa elektroenergetskim sustavom i distribucijskim aktivnostima a po sigurnosti rada najpouzdaniji, gotovo neovisan o stanju financijskog tržišta i ostatka privrede te zadržava najviši stupanj funkcionalnosti i u situacijama najtežih poremećaja poput rata i prirodnih katastrofa. Narečeni troškovi su detaljnije obrađeni u referatu Troškovi upravljanja tarifama uz pomoć MTU sustava, Cired, 1. savjetovanje Šibenik, 18. - 21. svibnja 2008. SO 6-17.

6. ODNOS MREŽNOG TONFREKVENTNOG PRIJEMNIKA I UKLOPNOG SATA

Novije generacije MTU prijemnika, peta i šesta generacija, imaju realiziran pozadinski uklopni sat kojem se uklopna vremena mijenjaju daljinski uz pomoć MTU telegrama/protokola po potrebi. Primjerice prilikom promjene tarifnog pravilnika i tarifnih vremena. Takav uređaj je neovisan o ispravnosti odašiljača duži vremenski period. Sinkronizacija vremena ove generacije prijemnika dovoljna je jedan puta godišnje, kada se svi prijemnici u mreži postavljaju na isto vrijeme istim telegramom.

Svi klasični uklopni satovi nakon nekoliko godina rada kasne ili žure što se korigira manuelno uz visok stupanj učešća i opterećenja djelatnika, što implicira visoke troškove putovanja, plombiranja i administriranja.

Klasični uklopni sat i kada žuri i kada kasni čini lošu sliku poslovanja operatora distribucijske mreže i kod kupca i u javnosti.

Kada klasični uklopni sat žuri kupac plaća uglavnom manji račun za utrošenu električnu energiju, time ostvaruje materijalnu korist na posredan način a distributer ostvaruje materijalnu štetu na posredan način.

Kada klasični uklopni sat kasni kupac plaća uglavnom veći račun za utrošenu električnu energiju, time ostvaruje materijalnu štetu na posredan način a distributer ostvaruje materijalnu korist na posredan način.

Neovisnom, površnom i neukom promatraču može se učiniti da statistički jedna polovina uklopnih satova žuri, druga polovina uklopnih satova kasni pa se efekti koristi i štete poništavaju te je ukupni efekt ništavan (nula). Međutim u stvarnosti zbog nelinearnosti dnevne krivulje opterećenja taj efekt je u narečenom slučaju materijalno uvijek na štetu operatora distribucijskog sustava i na štetu materijalne stabilnosti poslovanja skupa sudionika elektroenergetskog procesa kojeg čine, proizvođači el.energije, prijenos, distribucija električne energije i opskrba električnom energijom.

Zamjena uklopnog sata MTU prijemnikom koji žuri ili kasni materijalno se isplati za jednu ili više godina ovisno o količini energije koju kupac preuzima, a životni vijek prijemnika je između 20 i 30 godina.

7. ZAKLJUČAK

Sustav mrežnog tonfrekventnog upravljanja je tehnologija stara 110 godina koja se i danas uspješno koristi u elektroprivrednoj djelatnosti. Ovaj sustav je jednostavan, robustan i pouzdan čiji se elementi značajnim dijelom proizvode u Hrvatskoj [L3] sa ostvarenim značajanim izvozom robe i tehnologije. Poredeći ga sa drugim sustavima upravljanja tarifama i javnom rasvjetom, MTU sustav je najjeftiniji i najkompatibilniji sa elektroenergetskim sustavom i distribucijskim aktivnostima a po sigurnosti rada najpouzdaniji, gotovo neovisan o stanju financijskog tržišta, operativnosti ostatka privrede i društva te zadržava puni stupanj funkcionalnosti i u situacijama najtežih poremećaja poput rata i prirodnih katastrofa.

LITERATURA:

- [1] Rundsteuertechnik, Ernst-Robert Paessler, strana 40, ISBN 3-8978-004-9, izdanje 1994.
- [2] Strategija zamjene i uvođenja sustava MTU u mrežu HEP-a, Prof.dr.sc. Zijad Haznadar, Prof.dr.sc. Sead Berberović, Prof.dr.sc. Željko Štih, Mr.sc. Bojan Trkulja, FER Zagreb, travanj 2006.
- [3] www.rundsteuerung.de