

Analiza efikasnosti sistema za kompenzaciju reaktivne snage u gradskoj toplani u Zrenjaninu

Jovan Mikulović, Marko Živanović
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
mikulovic@etf.rs, marko.etfbg@gmail.com

Sažetak—U radu je izvršena analiza efikasnosti postrojenja za kompenzaciju reaktivne snage u gradskoj toplani u Zrenjaninu. Razmatrani su režimi rada u kojima je filtersko-kompenzaciono postrojenje uključeno i isključeno. Izvršena je uporedna analiza snaga koje su dobijene na osnovu algoritma proizvođača mrežnog analizatora i proračunom na osnovu teorije fizičkih komponenti struja. Posebno je razmatran uticaj viših harmonika na vrednost i znak totalne reaktivne snage, kao i režim rada kompenzacionog postrojenja bez filtriranja harmonika.

Ključne reči – kompenzacija reaktivne snage; viši harmonici; totalna reaktivna snaga;

I. UVOD

Popravka faktora snage potrošača podrazumeva kompenzaciju toka reaktivne snage iz sistema ka potrošaču. Kompenzacijom reaktivne snage se postižu sledeći efekti: smanjenje gubitaka u prenosu energije do potrošača, povećanje napona na mestu priključenja potrošača i oslobađanje prenosnih kapaciteta vodova i transformatora, što omogućava napajanje dodatnih potrošača. Osnovni motiv za kompenzaciju reaktivne snage kod potrošača je ekonomski, cilj je da se smanje troškovi zbog naplate preuzete reaktivne energije. Sa stanovišta elektrodistribucije, postoje tehnički benefiti od kompenzacije reaktivne snage. Kompenzacijom reaktivne snage se smanjuje ukupna struja u mreži za vrednost reaktivne struje. Zbog toga se smanjuje opterećenje transformatora i vodova, što dovodi do smanjenja tehničkih gubitaka u celom EES-u, do povećanja stabilnosti elektroenergetskog sistema i sigurnosti snabdevanja potrošača.

Najčešći uredjaji za kompenzaciju reaktivne snage su kondenzatorske baterije. Korišćenje kondenzatorskih baterija za popravku faktora snage može dovesti do problema sa harmonicima. Iako kondenzatori nisu izvor harmonika, oni mogu pojačati harmonike koji su prisutni u naponu na mestu priključenja kondenzatorskih baterija. Takođe, mogući su i problemi sa uključenjem kondenzatorskih baterija zbog nastanka tranzijentnih oscilacija.

Pasivni filteri predstavljaju konfiguracije kapacitivnosti, induktivnosti i otpornosti koje se koriste za prigušenje harmonika i kompenzaciju neaktivne snage. Često se koriste i relativno su jeftini u poređenju sa drugim sredstvima za eliminaciju harmonika. Paralelni (otočni) pasivni filteri se ugrađuju paralelno nelinearnim potrošačima i njihova osnovna

funkcija je da predstavljaju malu impedansu za definisanu vrednost višeg harmonika. Pogodno je filtere ugraditi što bliže nelinearnim potrošačima da bi se sprečilo prostiranje viših harmonika dalje u sistem. Pasivni filteri mogu da se koriste i za kompenzaciju neaktivne snage potrošača [1].

Problem definisanja snaga je znatno složeniji u slučaju kada naponi i struje sadrže više harmonike. Kompenzacija reaktivne snage u prisustvu viših harmonika napona i struja zahteva identifikaciju i kvantifikaciju svih fenomena koji doprinose ukupnoj reaktivne snage, a to su: fazni pomeraj između napona i struja, uticaj viših harmonika i nesimetrije napona i struja u sistemu.

U ovom radu je razmatrana efikasnost filtersko-kompenzacionog postrojenja koje je instalirano u gradskoj toplani u Zrenjaninu. Izvršena je detaljna analiza snaga potrošača pre i nakon izvršene kompenzacije reaktivne snage. Takođe je razmatrana mogućnost poboljšanja izvršene kompenzacije reaktivne snage potrošača, s obzirom na negativnu vrednost totalne reaktivne snage nakon uključenja kompenzacionog postrojenja koja je izmerena mrežnim analizatorom.

II. OPIS POSTROJENJA I MERENJA

A. Opis postrojenja i potrošača

U postrojenju gradske toplane u Zrenjaninu implementirana je oprema za poboljšanje kvaliteta električne energije. Gradska toplana u Zrenjaninu se dvostrano napaja 10 kV kablovskim vodovima. U toplani postoji transformatorska stanica (TS) 10/0,4 kV/kV koja sadrži dva transformatora, srednjenaponsko (SN) i niskonaponsko (NN) razvodno postrojenje. Prvobitno su se asinhroni motori koji pokreću radna kola pumpe napajali korišćenjem frekventnih regulatora. Usled neadekvatnog kvaliteta električne energije, dolazilo je do jako čestih ispada motora i regulatora. Ugradnjom linijskih i sinusnih filtera izvršeno je prigušenje viših harmonika, tako da više nije dolazilo do ispada [2]. Ugradnjom kondenzatorskih baterija izvršena je popravka faktora snage postrojenja [2].

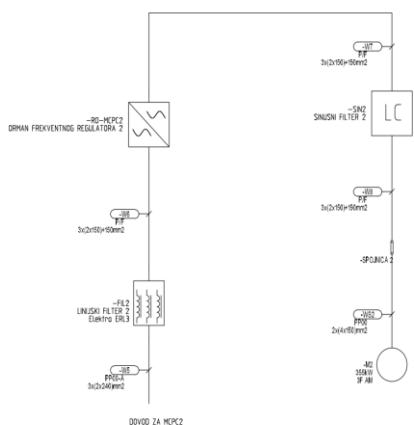
U NN razvodnom postrojenju postoje 3 izvoda preko kojih se napajaju pumpe. U mašinskoj sobi su smešteni linijski filter, sinusni filter i frekventni regulator. Linijski filter je tipa ERL3 400/800/400/4 proizvođača „Electra“, frekventni regulator je tipa Sinamics G150, proizvođača „Siemens“, a sinusni filter je

tipa ERM3 400/500/400 proizvođača „Electra“. Potrošač je trofazni asinhroni motor proizvođača „WEG“, nominalne snage 355 kW. Motor je preko mehaničkog reduktora spregnut na radno kolo pumpe. Na slici 1 je prikazana jednopolna šema veze navedenih uređaja.

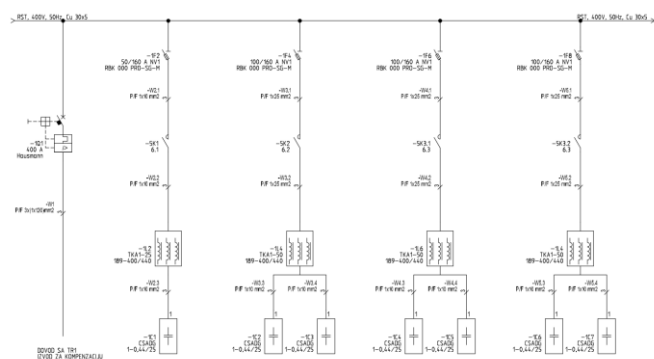
B. Opis kompenzacionog postrojenja

Za kompenzaciju reaktivne energije je korišćeno filtersko-kompenzaciono postrojenje sa kondenzatorskim baterijama i prigušnicama, pri čemu je rezonantna frekvencija podešena na 189 Hz (na slici 2.). Ukoliko bi se koristilo kompenzaciono postrojenje bez prigušnica, bila bi postignuta popravka faktor snage, ali uz povećanje harmoniskih izobličenja napona i struja. Za prigušenje viših harmonika korišćeni su linijski i sinusni filteri. Prigušnice koji su vezane na red sa baterijama za kompenzaciju reaktivne snage ograničavaju udarne struje uključivanja i dodatno prigušuju harmonike. Filtersko-kompenzaciono postrojenje je smešteno u TS u NN postrojenju.

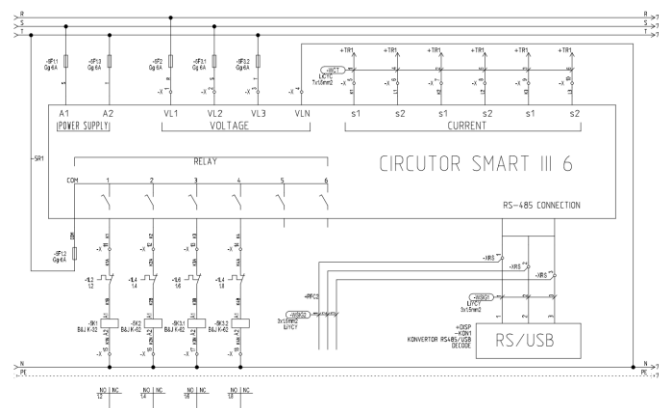
Kompezcija reaktivne snage je izvedena u diskretnim koracima u kojima kontaktori uključuju ili isključuju stepene kompezacije. Kontaktorima upravlja regulator kompenzacije proizvođača „Circutor“ serije Smart III – 6 (na slici 3). Kao ulazne podatke regulator koristi tri fazna napona i tri fazne struje, a na svojim relejnim izlazima daje signale kontaktorima.



Slika 1. Jednopolna šema veze potrošača preko linijskog filtera, frekventnog regulatora i sinusnog filtera



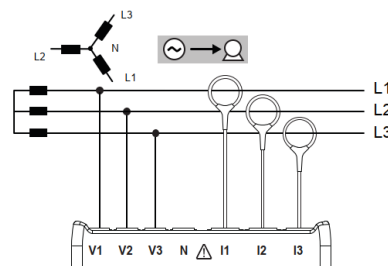
Slika 2. Jednopolna šema postrojenja za kompenzaciju reaktivne snage



Slika 3. Šema veze regulatora kompenzacije

C. Opis merenja

Instrument za merenje koji je korišćen je mrežni analizator proizvođača „Chauvin Arnoux“ tip PEL 103. Uređaj je vezan u modu „3 PHASE – 3WIRE – Y“ prema šemi na slici 4. Uređaj meri naponske signale pomoću naponskih sonda i linijske struje pomoću obuhvatnih strujnih pretvarača-sondi tipa MiniFlex MA193. Mrežni analizator kontinualne signale pretvara u diskretne signale sa rezolucijom od 1 sekunde i ova merenja se zapisuju u memoriji uređaja. Za naizmenične (AC) napone i struje efektivne vrednosti se računaju kao srednje-kvadratne vrednosti, dok se za jednosmerne (DC) napone i struje koriste aritmetičke sredine. Uređaj je u mogućnosti da izračunava strujne i naponske harmonike do 50 reda. U tabeli 1 su dati algoritmi proizvođača na osnovu kojih uređaj izračunava snage. Sa v_L i i_L se odnose na trenutne vrednosti faznog napona i linijske struje čije su efektivne vrednosti V_L i I_L , a sa a , b i c su označene faze trofaznog trožičnog sistema.



Slika 4. Šema veze mrežnog analizatora

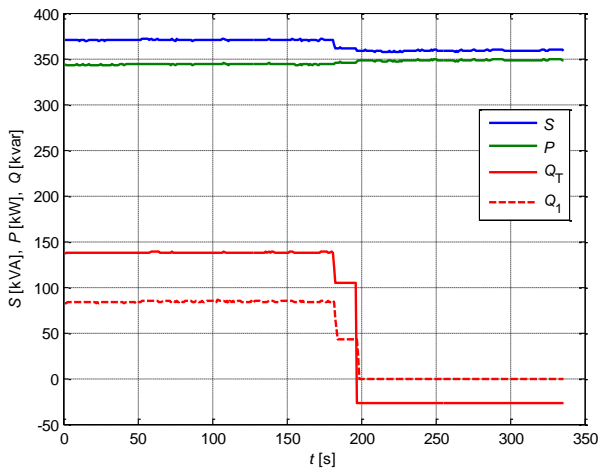
TABELA I. ALGORITMI PROIZVOĐAČA MREŽNOG ANALIZATORA NA OSNOVU KOJIH SE VRŠI IZRAČUNAVANJE SNAGA

Veličina	Izraz
Prividna snaga jedne faze	$S_L [Is] = V_L \cdot I_L$
Totalna prividna snaga	$S_T [Is] = S_a [Is] + S_b [Is] + S_c [Is]$
Aktivna snaga jedne faze	$P_L [Is] = \frac{1}{N} \sum_1^N (v_L \cdot i_L)$
Totalna aktivna snaga	$P_T [Is] = P_a [Is] + P_b [Is] + P_c [Is]$
Reaktivna snaga jedne faze	$Q_L [Is] = \text{sign}(Is) \cdot \sqrt{S_L^2 (Is) - P_L^2 (Is)}$
Totalna reaktivna snaga	$Q_T [Is] = Q_a [Is] + Q_b [Is] + Q_c [Is]$

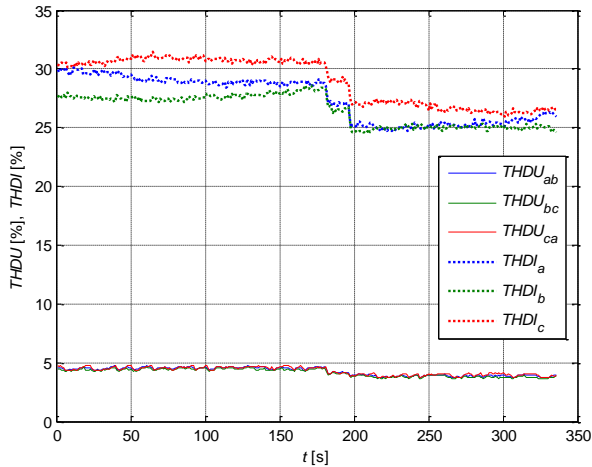
D. Rezultati merenja

Za dalju obradu signala, razmatran je vremenski interval od 336 s u kojem je vršeno uključenje filtersko-kompensacionog postrojenja. Na slici 5 su prikazane snage potrošača koje su izmerene mrežnim analizatorom: prividna snaga S , aktivna snaga P , totalna reaktivna snaga Q_T i reaktivna snaga Q_1 pri osnovnom harmoniku napona i struje. Uključenje filtersko-kompensacionog postrojenja se vrši u dva stepena, trenutak uključanja prvog stepena je $t=182$ s, a trenutak uključanja drugog stepena je $t=197$ s. Na osnovu slike 5 se može zaključiti da je kompenzaciono postrojenje projektovano tako da se u potpunosti kompenzuje reaktivna snaga pri osnovnom harmoniku napona i struje. Nakon uključanja kompenzacionog postrojenja izmerena je negativna totalna reaktivna snaga, što navodi na zaključak da je potrošač prekompenzovan.

Na slici 6 su prikazane THD (*Total Harmonic Distortion*) vrednosti za linijske napone i linijske struje potrošača.



Slika 5. Snage potrošača izmerene mrežnim analizatorom: prividna snaga S , aktivna snaga P , totalna reaktivna snaga Q_T i reaktivna snaga Q_1 pri osnovnom harmoniku napona i struje



Slika 6. THD vrednosti linijskih napona i struja potrošača izmerene mrežnim analizatorom

Na slici 6 se može uočiti da je korišćenjem filtera pri kompenzaciji reaktivne snage postignuto nezatno smanjenje harmonijskih izobličenja napona i struja potrošača. Totalna reaktivna snaga je posledica faznog pomeraja između napona i odgovarajućih struja, ali takođe obuhvata i doprinose viših harmonika, kao i uticaj nesimetrija napona i struja u sistemu. Zbog toga je neophodna detaljnija analiza snaga potrošača pre i nakon izvršene kompenzacije reaktivne snage.

III. SNAGE POTROŠAČA U PRISUSTVU VIŠIH HARMONIKA

Jedna od najpoznatijih teorija snaga pri naponima i strujama sa harmonijskim izobličenjima je teorija fizičkih komponenti struja (CPC – *Currents' Physical Components*) koju je predložio *Czarnecki* 1984. godine [3],[4]. Prema ovoj teoriji, za trofazni potrošač sa naponima i strujama koji sadrže n harmonika, definišu se aktivne i_{aj} , rasipne i_{sj} , reaktivne i_{rj} i nebalansirane i_{uj} struje ($j=a,b,c$):

$$i_{aj} = G_e u_j, \quad j = a, b, c \quad (1)$$

$$i_{sj} = \sum_{k=1}^n (G_k - G_e) u_{jk}, \quad j = a, b, c \quad (2)$$

$$i_{rj} = \sum_{k=1}^n B_{ek} \frac{du_{jk}}{d(\omega_k t)}, \quad j = a, b, c \quad (3)$$

$$i_{uj} = i_j - i_{aj} - i_{sj} - i_{rj}, \quad j = a, b, c \quad (4)$$

gde u_j ($j=a,b,c$) predstavljaju trenutne vrednosti faznih napona sa efektivnim vrednostima U_a , U_b i U_c i harmonicima u_{ak} , u_{bk} i u_{ck} ($k=1, \dots, n$), G_e su simetrične ekvivalentne konduktanse potrošača koje odgovaraju aktivnoj snazi P , a Y_k su ekvivalentne admittanse potrošača koje odgovaraju kompleksnoj snazi S_k pri učestanosti k -tog harmonika [3]-[6]:

$$G_e = \frac{P}{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2} \quad (5)$$

$$Y_k = G_k + jB_k = \frac{S_k^*}{U_{ak}^2 + U_{bk}^2 + U_{ck}^2} \quad (6)$$

Na osnovu efektivnih vrednosti rasipnih, reaktivnih i nebalansiranih struja, definišu se rasipna, reaktivna i nebalansirana snaga potrošača [3]-[6]:

$$D_s = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2} \cdot \sqrt{I_{sa}^2 + I_{sb}^2 + I_{sc}^2} \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2} \cdot \sqrt{I_{ra}^2 + I_{rb}^2 + I_{rc}^2} \quad (8)$$

$$D_u = \sqrt{U_a^2 + U_b^2 + U_c^2} \cdot \sqrt{I_{ua}^2 + I_{ub}^2 + I_{uc}^2} \quad (9)$$

Definisane snage zadovoljavaju jednačinu ortogonalnosti:

$$S^2 = P^2 + D_s^2 + Q^2 + D_u^2 \quad (10)$$

U literaturi [7],[8] koristi se i termin neaktivna snaga:

$$N = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (11)$$

IV. KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE POTROŠAČA U PRISUSTVU VIŠIH HARMONIKA

Kompensacija neaktivne snage trofaznog potrošača se može realizovati korišćenjem kondenzatora koji su vezani u trougao. Optimalne kapacitivnosti ovih kondenzatora su [9]:

$$\begin{bmatrix} C_{ab} \\ C_{bc} \\ C_{ca} \end{bmatrix} = -\mathbf{B}^{-1} \cdot \mathbf{g} \quad (12)$$

Matrica \mathbf{B} i vektor \mathbf{g} su:

$$\mathbf{B} = \frac{1}{T} \int_0^T \begin{bmatrix} 2(Du_{ab})^2 & -Du_{ab}Du_{bc} & -Du_{ab}Du_{ca} \\ -Du_{ab}Du_{bc} & 2(Du_{bc})^2 & Du_{bc}Du_{ca} \\ -Du_{ab}Du_{ca} & -Du_{bc}Du_{ca} & 2(Du_{ca})^2 \end{bmatrix} dt \quad (13)$$

$$\mathbf{g} = \frac{1}{T} \int_0^T \begin{bmatrix} (i_a - i_b) Du_{ab} \\ (i_b - i_c) Du_{bc} \\ (i_c - i_a) Du_{ca} \end{bmatrix} dt \quad (14)$$

gde su u_{ab} , u_{bc} i u_{ca} trenutne vrednosti linijskih (međufaznih) napona ($u_{ab}=u_a-u_b$, $u_{bc}=u_b-u_c$ and $u_{ca}=u_c-u_a$), $D=d/dt$ je diferencijalni operator, a T je osnovna perioda naizmenične struje.

Da bi se ograničile udarne struje uključanja i prigušili harmonici, kondenzatorske baterije koje se koriste za kompensaciju reaktivne snage se vezuju na red sa prigušnicama, formirajući na taj način pasivne filtere. Rezonantna učestanost ω_{rj} grane pasivnog filtera se podešava na frekvenciju koja je manja od učestanosti petog harmonika ω_{ri} zbog toga što se smatra da u tom opsegu frekvencija ne postoje izraženi viši harmonici napona:

$$\omega_{rj} = \frac{1}{\sqrt{L_j C_j}} < \omega_5, \quad j = ab, bc, ca \quad (15)$$

Potrebna kapacitivnost za kompensaciju neaktivne snage postiže se odgovarajućim kondenzatorom u grani filtera [10]. Ovaj uslov podrazumeva da je ekvivalentna kapacitivnost grane filtera kojom se zamenjuje kondenzator jednaka optimalnoj kapacitivnosti kondenzatora C_j ($j=a,b,c$) pri osnovnoj kružnoj učestanosti ω_1 . Uvažavajući induktivnost prigušnice u filterskoj grani, potrebna kapacitivnost u filterskoj grani za kompensaciju reaktivne snage je [10]:

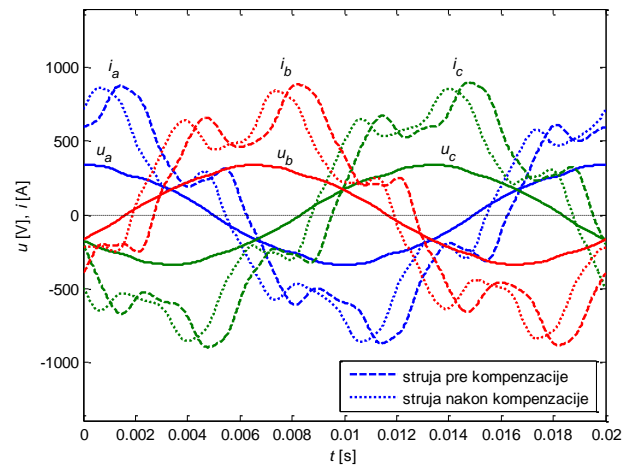
$$C_{Fj} \approx \left(1 - \frac{\omega_1^2}{\omega_{rj}^2}\right) C_j, \quad j = ab, bc, ca \quad (16)$$

Faktor dobrote prigušnice u grani filtera je [10]:

$$Q_F = \frac{\omega_{rj} L_j}{R_j}, \quad j = ab, bc, ca \quad (17)$$

V. REZULTATI PRORAČUNA

Na osnovu podataka o faktoru snage potrošača i faznom pomeraju između osnovnog harmonika napona i struja, kao i na osnovu efektivnih vrednosti harmonika napona i struja, izvršena je estimacija trenutnih vrednosti napona i struja pre i nakon uključanja filtersko-kompensacionog postrojenja. Na slici 7 su prikazane trenutne vrednosti faznih napona i linijskih struja pre kompensacije reaktivne snage (u trenutku $t=100$ s), kao i trenutne vrednosti linijskih struja nakon kompensacije reaktivne snage (u trenutku $t=250$ s). Može se uočiti fazno pomeranje struja prema odgovarajućim faznim naponima, kao i neznatno smanjenje efektivnih vrednosti struja nakon izvršene kompensacije reaktivne snage.

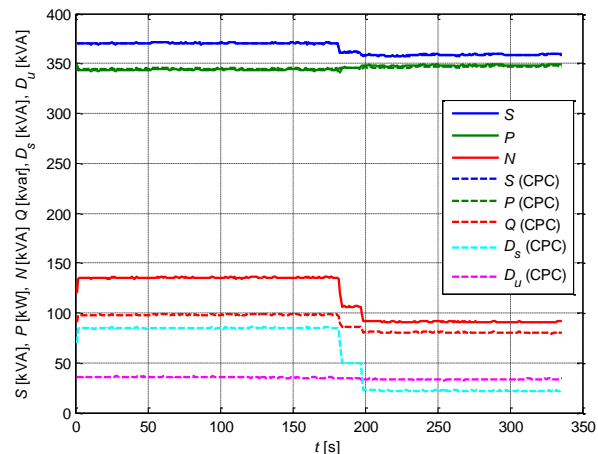


Slika 7. THD vrednosti linijskih napona i struja potrošača izmerene mrežnim analizatorom

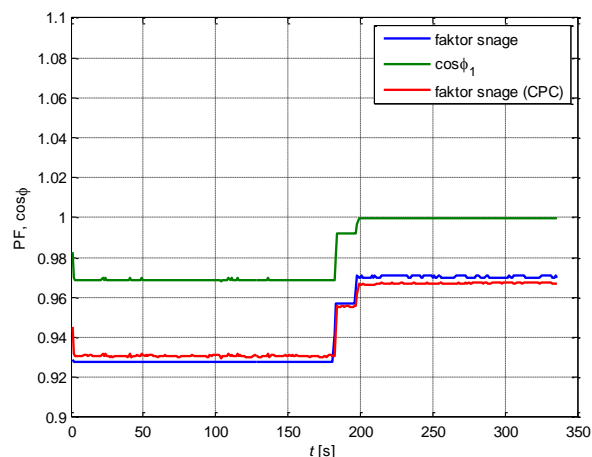
Na osnovu trenutnih vrednosti faznih napona i linijskih struja izvršen je proračun snaga na osnovu CPC teorije. Na slici 8 su prikazane prividna i aktivna snaga na osnovu mernih podataka, neaktivna, prividna, aktivna, reaktivna, rasipna, kao i nebalansirana snaga dobijene proračunom na osnovu CPC teorije. Može se uočiti da prividna i aktivna snaga proračunate na osnovu CPC odgovaraju prividnoj i aktivnoj snazi na osnovu mernih podataka. Reaktivna snaga na osnovu CPC teorije se ne poklapa sa totalnom reaktivnom snagom koju je registrovao mrežni analizator (na slici 5). Ovo je očekivano, s obzirom da totalna reaktivna snaga treba da odgovara neaktivnoj snazi, sa tom razlikom što neaktivna snaga nema znak na osnovu koga se određuje da li se radi o induktivnoj i kapacitivnoj snazi. Nakon izvršene kompenzacije reaktivne snage mrežni analizator je registrovao negativnu vrednost za totalnu reaktivnu snagu, što se ne može utvrditi na osnovu registrovane promene faktora snage koja je prikazana na slici 9. Može se takođe uočiti da je neaktivna snaga veća od apsolutne vrednosti totalne reaktivne snage. Izvesno je da je reaktivna snaga pri osnovnom harmoniku napona i struje komponenta snage kojoj se može pridružiti znak, a pridruživanje znaka totalnoj reaktivnoj snazi u uslovima kada je reaktivna snaga pri osnovnom harmoniku napona i struja jednaka nuli zahteva detaljnija razmatranja.

Na slici 9 su prikazane i srednje vrednosti za $\cos\phi_1$ (gde je ϕ_1 ugao između osnovnog harmonika faznih napona i osnovnog harmonika odgovarajućih linijskih struja), kao i faktor snage izračunat na osnovu CPC teorije. Vrednost za $\cos\phi_1$ nakon kompenzacije reaktivne snage postaje jednaka jedinici, što znači da se u potpunosti kompenzuje samo reaktivna snaga pri osnovnom harmoniku napona i struje.

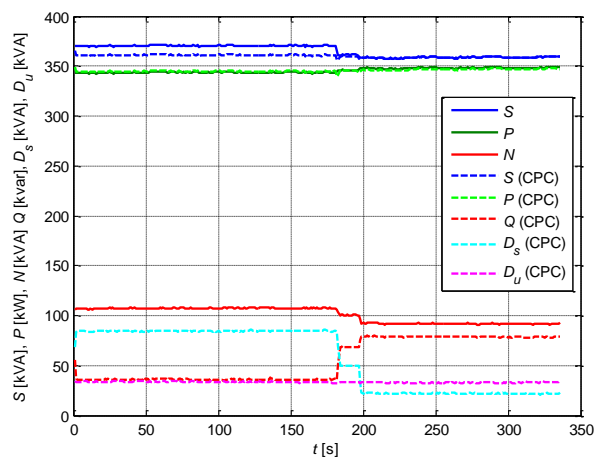
U cilju analize efikasnosti instalisanog filtersko-kompensacionog postrojenja, izvršen je proračun optimalnih kapacitivnosti kondenzatora vezanih u trougao prema izrazima (12), (13) i (14). Na slici 10 su prikazane prividna i aktivna snaga na osnovu mernih podataka, neaktivna, prividna, aktivna, reaktivna, rasipna, kao i nebalansirana snaga koje bi se dobile kompenzacijom reaktivne snage pomoću kondenzatora optimalnih kapacitivnosti. U vremenskom intervalu do 182 s postojeće filtersko-kompensaciono postrojenje je isključeno, tako da se mogu sagledati efekti optimalne kompenzacije pomoću kondenzatora. Uočava se da se takvom kompenzacijom može značajno smanjiti reaktivna snaga Q . Međutim, rasipna snaga D_s zadržava veliku vrednost, zato što se ne primenjuje filtriranje harmonika. U vremenskom intervalu nakon 200 s, postojeće filtersko-kompensaciono je uključeno, tako da dodatna kompenzacija pomoću kondenzatora optimalnih kapacitivnosti ne bi imala nikakvog efekta. Naime, sve proračunate snage na slici 10 u vremenskom intervalu nakon 200 s su iste kao i odgovarajuće snage na slici 8 u istom vremenskom intervalu. Značajno smanjenje rasipne komponente snage je posledica prigušenja harmonika usled korišćenja linijskog i sinusnog filtera. Linijski filter se koristi za filtriranje harmonika viših učestanosti, a sinusni filter pretvara izlazne impulse frekvencijskog regulatora u signale sinusnog oblika.



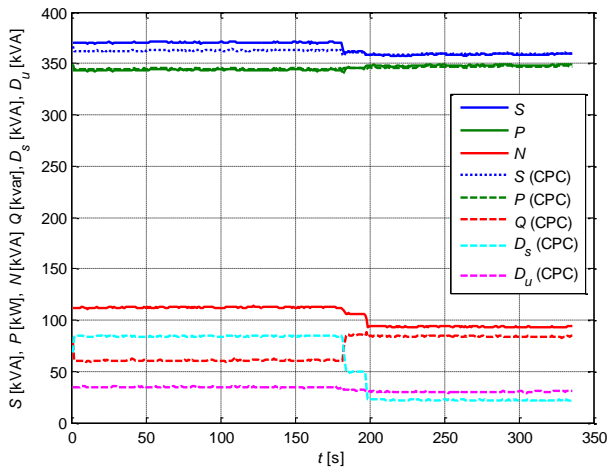
Slika 8. Prividna i aktivna snaga na osnovu mernih podataka, neaktivna, prividna, aktivna, reaktivna, rasipna i nebalansirana snaga na osnovu CPC teorije



Slika 9. Faktor snage i srednje vrednosti za $\cos\phi_1$ na osnovu mernih podataka i faktor snage izračunat na osnovu CPC teorije



Slika 10. Prividna i aktivna snaga na osnovu mernih podataka, neaktivna, prividna, aktivna, reaktivna, rasipna i nebalansirana snaga za slučaj optimalne kompenzacije reaktivne snage pomoću kondenzatorskih baterija



Slika 11. Prividna i aktivna snaga na osnovu mernih podataka, neaktivna, prividna, aktivna, reaktivna, rasipna i nebalansirana snaga za slučaj optimalne kompenzacije reaktivne snage pomoću pasivnog filtera

Verifikacija efikasnosti rada postojećeg filtersko-kompensacionog postrojenja se može izvršiti i proračunom optimalnih parametara pasivnog antirezonantnog filtera za kompenzaciju reaktivne snage. Pretpostavka je da su filterske RLC grane vezane u trougao. Na slici 11 su prikazane prividna i aktivna snaga na osnovu mernih podataka, neaktivna, prividna, aktivna, reaktivna, rasipna, kao i nebalansirana snaga koje bi se dobile kompenzacijom reaktivne snage pomoću pasivnog antirezonantnog filtera. U vremenskom intervalu do 182 s kada je postojeće filtersko-kompensaciono postrojenje isključeno, uočava se da se korišćenjem pasivnog filtera može značajno smanjiti reaktivna snaga Q . Međutim, rasipna snaga D_s i dalje ima veliku vrednost, zato što filtrirane struje kroz filterske RLC grane imaju mali udeo u linijskim strujama, s obzirom da se radi o relativno maloj popravci faktora snage. U vremenskom intervalu nakon 200 s kada je postojeće filtersko-kompensaciono postrojenje uključeno, dodatna kompenzacija pomoću pasivnog filtera ne bi imala nikakvog efekta.

VI. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza efikasnosti filtersko-kompensacionog postrojenja u gradskoj toplani u Zrenjaninu. Korišćenjem filtersko-kompensacionog postrojenja postiže se kompenzacija reaktivne snage, ali se zahvaljujući korišćenju filtera dodatno smanjuje totalna reaktivna snaga zbog značajnog smanjenja rasipne komponente snage koja je posledica viših harmonika napona i struja. Na osnovu detaljne analize snaga pre i nakon uključivanja filtersko-kompensacionog postrojenja uočeno je da postoji razlika između totalne reaktivne snage izračunate prema algoritmu proizvođača mrežnog analizatora i neaktivne snage izračunate prema teoriji fizičkih komponenti struja. Pridruživanje znaka totalnoj reaktivnoj snazi u uslovima kada je reaktivna snaga pri

osnovnom harmoniku napona i struja jednaka nuli zahteva dalja razmatranja i diskusije.

ZAHVALNICA

Autor se zahvaljuje Ministarstvu za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije za finansijsku podršku ovom radu u okviru tehnoloških projekata TR-33037 i III4009.

LITERATURA

- [1] G. J. Wakileh, Power System Harmonics, Springer, 2001.
- [2] Darko Milutinović, Milenko Jovanović, Aleksandar Ivković, Marko Živanović, "Kompenzacija reaktivne snage električne energije i otklanjanje viših harmonika u JKP Gradska toplana u Zrenjaninu", projekat, Beograd 2017.
- [3] L. S. Czarnecki, "Orthogonal decomposition of the currents in a 3-phase nonlinear asymmetrical circuit with a nonsinusoidal voltage source," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 37, no. 1, pp. 30–34, Mar. 1988.
- [4] L. Czarnecki, "Currents' Physical Components (CPC) Concept: a Fundamental of Power Theory," in *2008 International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation*, Lagow, Poland, June 2008
- [5] B. Škrbić, J. Mikulović, T. Šekara, "Extension of the CPC power theory to four-wire power systems with non-sinusoidal and unbalanced voltages", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, February 2019, vol. 105, pp. 341-350
- [6] J. Mikulović, "Definicije snaga za električna kola sa harmonijskim izobličenjima napona i struja", 18th International Symposium INFOTEH-JAHORINA, 20-22 March 2019.
- [7] IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities under Sinusoidal, Non-sinusoidal, Balanced or Unbalanced Conditions. IEEE Standard 1459, 2010, New York USA.
- [8] H. Späth, "A general purpose definition of active current and non-active power based on German standard DIN 40110," *Electr. Eng.*, vol. 89, no. 3, pp. 167–175, Jan. 2007.
- [9] T. Šekara, J. Mikulović, Ž. Đurišić, "Optimal Reactive Compensators in Power Systems under Asymmetrical and Non-sinusoidal Conditions" *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol 23, No. 2, April 2008, pp. 974-984
- [10] Jovan Č. Mikulović, "Određivanje parametara pasivnog filtra za kompenzaciju neaktivne snage potrošača na osnovu optimalnih kapacitivnosti kondenzatora", 53. Konferencija ETRAN 2009, Ref. EK3.7, Vrnjačka Banja, Jun 2009.

ABSTRACT

The paper analyzes the efficiency of the reactive power compensation plant in Zrenjanin city heating plant. The modes in which the filter-compensation plant is switched on and off are considered. A comparative analysis of the powers obtained on the basis of the network analyzer algorithm and on the basis of the theory of physical currents' components was performed. The influence of harmonics on the value and sign of total reactive power, as well as the mode of operation of the compensation plant without filtering harmonics is considered.

EFFICIENCY ANALYSIS OF REACTIVE POWER COMPENSATION SYSTEM IN ZRENJANIN CITY HEATING PLANT

Jovan Mikulović, Marko Živanović