

Ana Tomasović Teklić
Končar – Institut za elektrotehniku d.o.o.
at.teklic@koncar-institut.hr

UTJECAJ RADA UREĐAJA ZA KOMPENZACIJU JALOVE SNAGE U INDUSTRIJSKOM POSTROJENJU NA KVALITETU NAPONA

SAŽETAK

Industrijski korisnik mreže koji za svoj proizvodni proces treba veliki broj elektromotora, obično koristi i jalovu energiju. Da bi se izbjeglo nepotrebno plaćanje jalove energije, potrebno je faktor snage $\cos \varphi$ držati u granicama između 0,95 i 1 induktivno. Zbog toga se obično ugrađuju uređaji za kompenzaciju jalove snage. U ovom industrijskom postrojenju su obavljena mjerenja opterećenja i kvalitete napona. Osim mjerenja napravljen je i model elektroenergetske mreže. Cilj modeliranja mreže je bio utvrditi frekvencijski odziv mreže ovisno o broju stupnjeva uklopljenih kondenzatorskih baterija. Ukoliko se neka od rezonantnih frekvencija mreže poklapa sa frekvencijom nekog višeg harmonika struje pretvarača, doći će do paralelne rezonancije. Na kraju je predloženo rješenje kojim bi se promijenila rezonantna frekvencija i time spriječila eventualna havarija u postrojenju.

Ključne riječi: uređaj za kompenzaciju, kvaliteta napona, viši harmonici, model mreže

INFLUENCE OF REACTIVE POWER COMPENSATION DEVICE ON POWER QUALITY IN INDUSTRIAL FACILITY

SUMMARY

Industrial network users often need a large number of electric motors for his production process and to avoid payment of reactive power uses devices for reactive power compensation. It's necessary to keep power factor $\cos \varphi$ between 0,95 and 1. In this industrial facility measurement of load and voltage quality was performed. In addition to measurements, a network model was created. The aim of the network modeling was to determine the frequency response of the network depending on the number of stages of capacitor banks in operation. If one of the resonant frequencies of the network coincides with the frequency of harmonic of the converter current, parallel resonance will occur. At the end, a change of the resonance frequency was proposed to prevent any breakdown in this industrial facility.

Key words: reactive power compensation device, voltage quality, harmonics, network model

1. UVOD

U predmetnom industrijskom postrojenju u TS 10/0,4 kV su instalirana 2 transformatora nazivne snage 1600 kVA koji ne rade u paralelnom pogonu i napajaju ukupno 10 elektromotora pojedinačne nazivne snage 160 kW (5 elektromotora se napaja sa NN sabirnica transformatora TA, a 5 sa NN sabirnica TB). Na 4 od ukupno 10 elektromotora su ugrađeni frekvencijski pretvarači kojima je svrha smanjenje potrošnje električne energije uz isti učinak rada elektromotora. Tri od četiri regulirana elektromotora su priključena na NN sabirnice transformatora TA. Uređaji za kompenzaciju jalove snage (2 x 300 kvar) su automatski i ugrađeni su na 0,4 kV sabirnicama transformatora TA i TB.

Svrha mjerenja je bila prvenstveno ustanoviti kvalitetu napona (po pitanju viših harmonika) na NN sabirnicama transformatora TA, koji napaja ukupno pet elektromotora, od kojih su tri regulirana uređajima energetske elektronike. Nakon ugradnje uređaja energetske elektronike za regulaciju elektromotora, utvrđeno je da se kondenzatorske baterije pregrijavaju. Zbog mogućnosti pojave paralelne rezonancije obavljena su mjerenja kvalitete napona na NN sabirnicama transformatora TA. Obavljena su i mjerenja opterećenja odvoda transformatora TA, odvoda za uređaj za kompenzaciju jalove snage koji je priključen na transformatoru TA, te snimanja valnih oblika napona i struja na jednom uređaju energetske elektronike za regulaciju elektromotora i pojedinačno na nekim stupnjevima kondenzatorskih baterija.

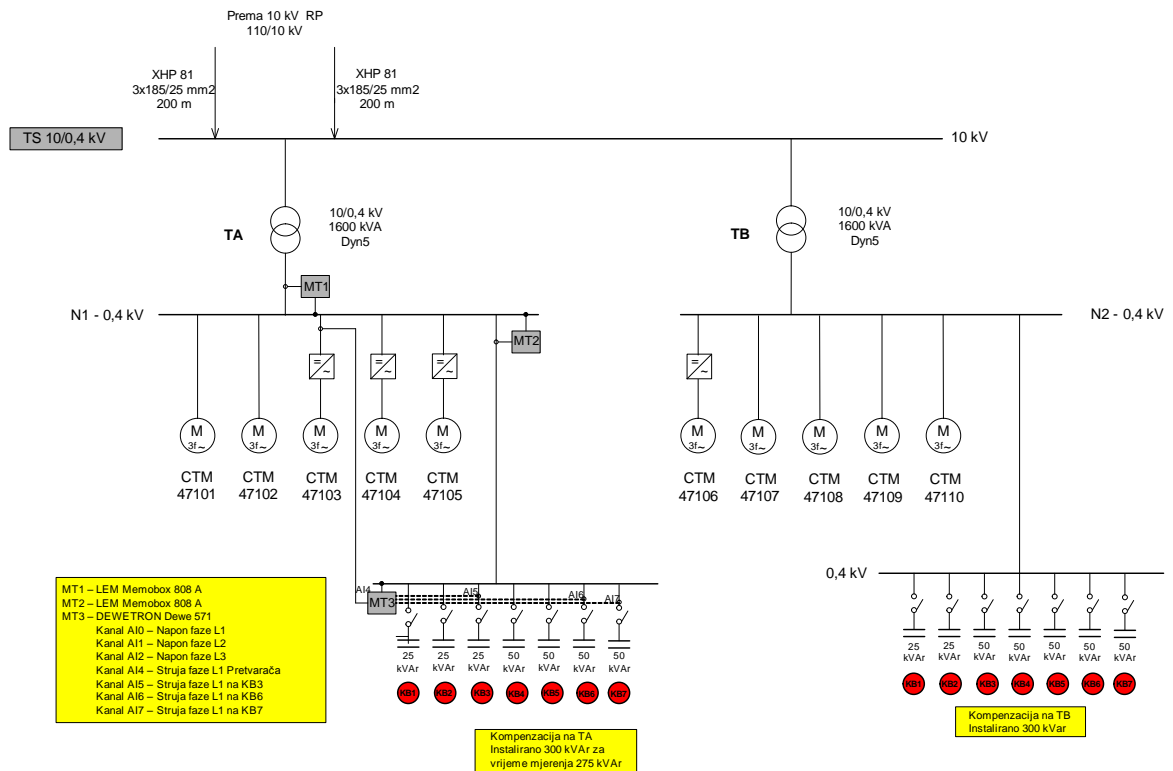
Osim mjerenja napravljen je i model mreže u programskom paketu DigSilent PowerFactory 13.1. Ulazni parametar u model mreže je bio i mjereni valni oblik struje pretvarača. Cilj modeliranja mreže je bio utvrditi frekvencijski odziv mreže ovisno o broju stupnjeva uklopljenih kondenzatorskih baterija. Ukoliko se neka od rezonantnih frekvencija mreže poklapa sa frekvencijom nekog višeg harmonika struje pretvarača, doći će do paralelne rezonancije. Paralelna rezonancija je vrlo nepoželjna pojava u elektroenergetskim mrežama kod koje dolazi do vrlo visokog izobličenja valnog oblika napona THD $U > 10\%$. Ona uzrokuje skraćeni vijek trajanja ili uništenje kondenzatorskih baterija i druge opreme priključene na mrežu (posebno one osjetljive) i za posljedicu ima značajnu materijalnu štetu. Na kraju je predloženo rješenje kojim bi se promijenila rezonantna frekvencija i time spriječila eventualna havarija u postrojenju.

2. MJESTA MJERENJA I OPIS MJERENJA

Na lokaciji TS 10/0,4 kV u industrijskom postrojenju, obavljena su mjerenja kvalitete napona na NN sabirnicama transformatora TA. Osim kvalitete napona, obavljena su i mjerenja opterećenja odvoda transformatora TA, odvoda za uređaj za kompenzaciju jalove snage koji je priključen na transformatoru TA, te snimanja valnih oblika napona i struja na jednom uređaju energetske elektronike za regulaciju elektromotora i pojedinačno na nekim stupnjevima kondenzatorskih baterija. Mjerenja su obavljena 2016. godine u ukupno tri mjerne točke:

- **MT1** – NN sabirnice u TS 10/0,4 kV – odvod transformatora TA
- **MT2** – NN sabirnice u TS – 10/0,4 kV – odvod uređaja za kompenzaciju na transformatoru TA
- **MT3** – NN ormar kompenzacije i NN ormar Pretvarača za CTM 47103:
 - Kanal AI0 – Napon faze L1
 - Kanal AI1 – Napon faze L2
 - Kanal AI2 – Napon faze L3
 - Kanal AI4 – Struja faze L1 Pretvarača
 - Kanal AI5 – Struja faze L1 na KB 3
 - Kanal AI6 – Struja faze L1 na KB 6
 - Kanal AI7 – Struja faze L1 na KB 7

Mjerenja su obavljena na način da su na početku mjerenja svi regulirani elektromotori radili na minimumu (opterećenje transformatora TA je bilo oko 20 % nazivne snage). Uređaj za automatsku regulaciju jalove snage je prebačen u ručni način rada. Nakon toga je jedan po jedan regulirani elektromotorni pogon postizao punu snagu. Tijekom rada pojedinog reguliranog elektromotora, obavljeno je ručno sklapanje kondenzatorskih baterija, uz napomenu da je KB 3 koja je u trenutku mjerenja bila snage 25 kvar (a predviđeno je 50 kvar) bila trajno uključena zbog neispravnog sklopnika. Mjerenja su obavljena analizatorima kvalitete električne energije Lem Memobox 808A (MT1 i MT2) i Dewetron Dewe – 571 (MT3). Prikaz mjernih točaka na pojednostavljenoj shemi mreže je dan na slici 1, a fotografije s mjerenja su prikazane na slici 2.



Slika 1. Prikaz mjernih mjesta

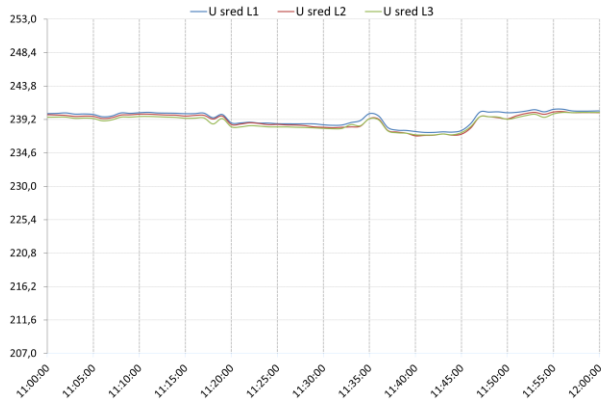


Slika 2. Fotografije s mjerenja

3. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

3.1. Rezultati mjerenja kvalitete napona i opterećenja na NN sabirnicama u TS 10/0,4 kV na odvodu TA (MT1)

Rezultati mjerenja su dani u nastavku (1-minutne efektivne srednje vrijednosti):



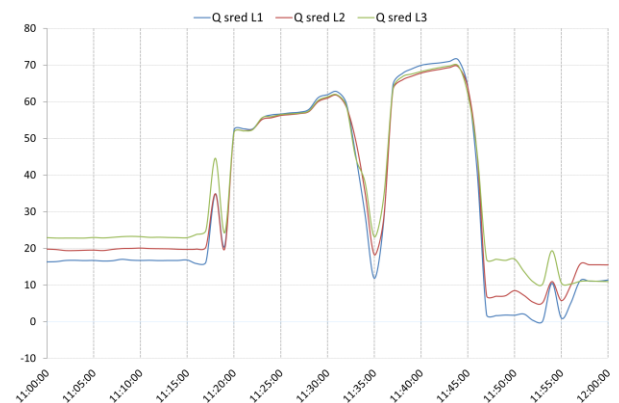
Slika 3. Napon po fazama [V]



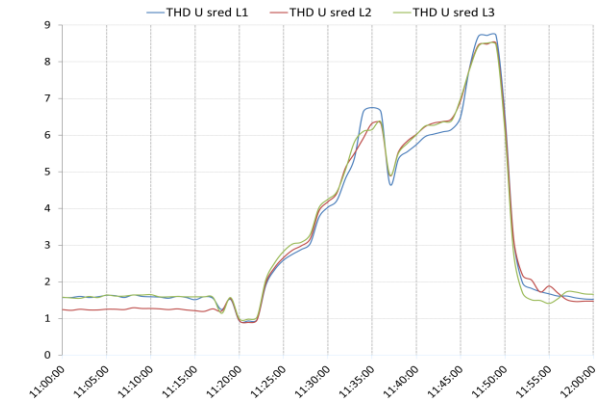
Slika 4. Struja po fazama [A]



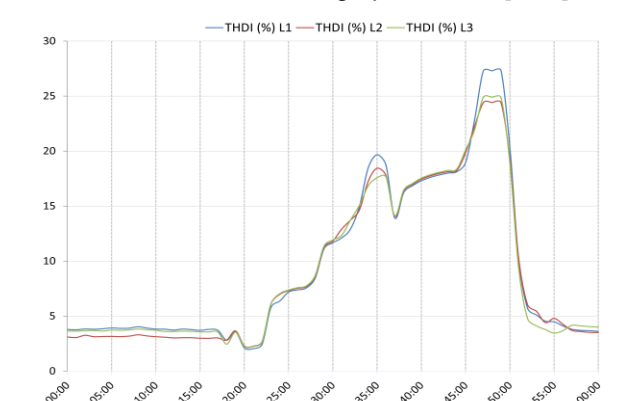
Slika 5. Radna snaga po fazama [kW]



Slika 6. Jalova snaga po fazama [kvar]



Slika 7. THD U po fazama [%]



Slika 8. THD I po fazama [% I_{max}]

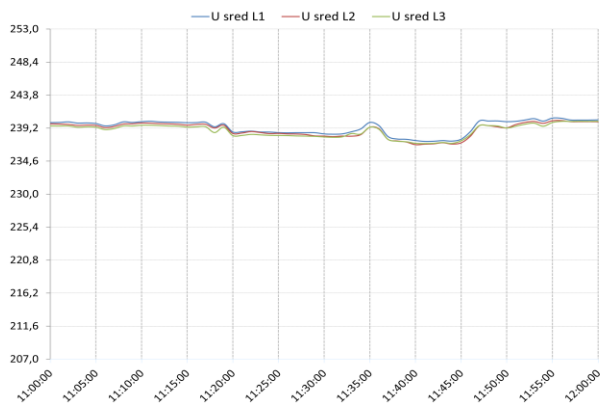
Transformator TA je bio maksimalno opterećen sa 50% nazivnog opterećenja (796 kVA). Maksimalna zabilježena radna snaga je iznosila 760 kW, a jalova 210 kvar. U trenucima maksimalnog opterećenja, kada nazivnom snagom rade i sva tri frekvencijski regulirana elektromotora zabilježene su vrlo visoke vrijednosti ukupnog harmonijskog izobličenja napona od gotovo 9 % (razine kompatibilnosti prema međunarodnim normama su 8 %). Ukupno harmonijsko izobličenje struje (THD I u % I_{max}) u tim trenucima iznosi gotovo 30 %. Od naponskih harmonika su najizraženiji 11. (maks 6,60 %) i 13. harmonik (maks 5,65 %), a od strujnih 5. (maks 17,28 %), 7. (maks 14,41 %), 11. (maks 14,14 %) i 13. harmonik

(maks 9,76 %). Može se isto tako uočiti da 5. strujni harmonik raste s povećanjem nelinearnog opterećenja, dok 7. 11. i 13. harmonik imaju najveće vrijednosti kada dva od tri i sva tri pretvarača rade punom pojedinačnom snagom.

Vrlo visoke vrijednosti naponskih harmonika i faktora ukupnog harmonijskog izobličenja napona su posljedica nelinearnih karakteristika opterećenja transformatora zbog frekvencijskih pretvarača i rada uređaja za kompenzaciju jalove snage. Frekvencijski regulirani elektromotori su u ovom slučaju upravljani 6-pulsnim uređajima energetske elektronike sa istosmjernim međukrugom, koji na mrežnoj strani imaju diodni most. 6-pulsni pretvarači u mrežu injektiraju više harmonike reda $np \pm 1$ (p je pulsni broj, a n je cijeli broj). S obzirom da se na NN sabirnicama u TS 10/0,4 kV nalazi ugrađen i uređaj za kompenzaciju jalove snage, prilikom ugrađivanja frekvencijskog pretvarača, bilo je potrebno napraviti proračune za dimenzioniranje samog uređaja i/ili izbjegavanje mogućnosti pojave paralelne rezonancije.

3.2. Rezultati mjerenja kvalitete napona i opterećenja na NN sabirnicama u TS 10/0,4 kV na odvodu uređaja za automatsku kompenzaciju jalove snage transformatora TA (MT2)

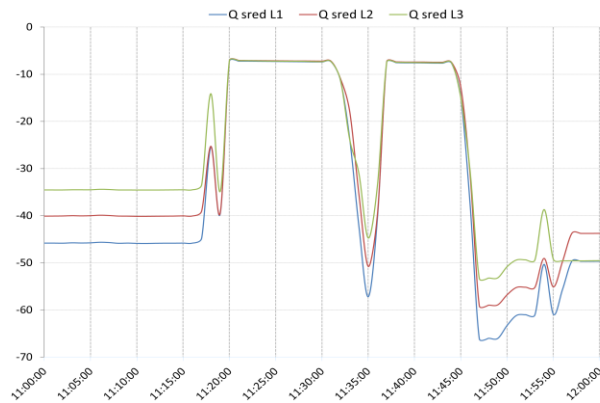
Rezultati mjerenja su dani u nastavku (1-minutne efektivne srednje vrijednosti):



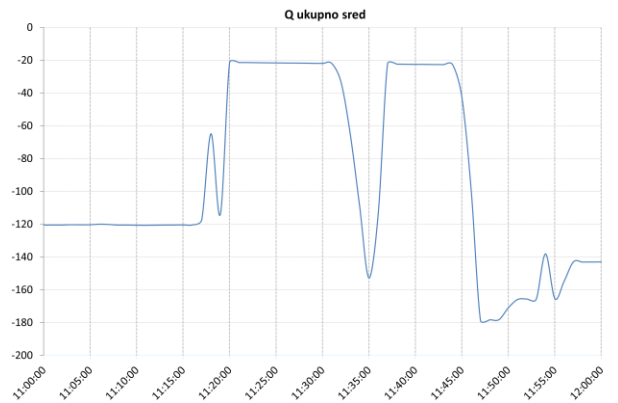
Slika 9. Napon po fazama [V]



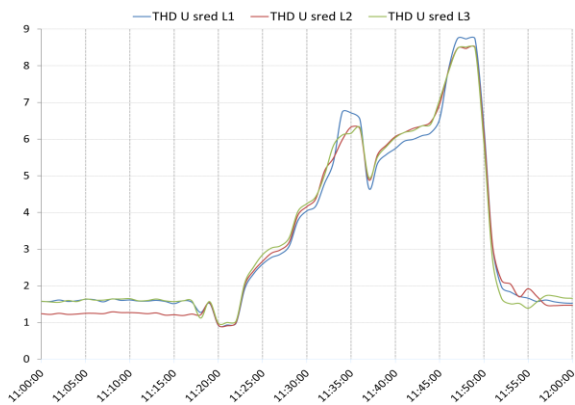
Slika 10. Struja po fazama [A]



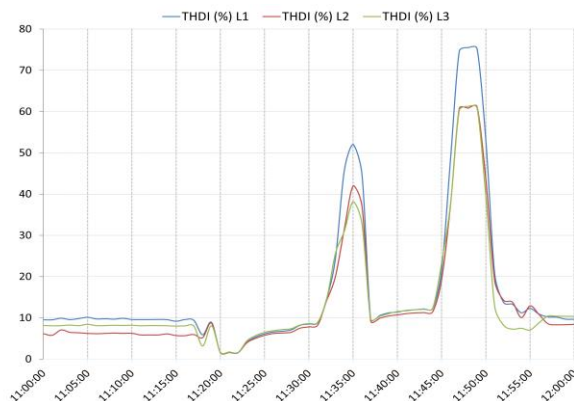
Slika 11. Jalova snaga po fazama [kvar]



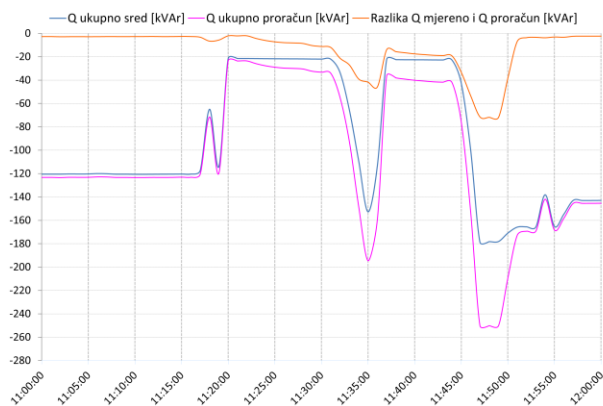
Slika 12. Ukupna jalova snaga [kvar]



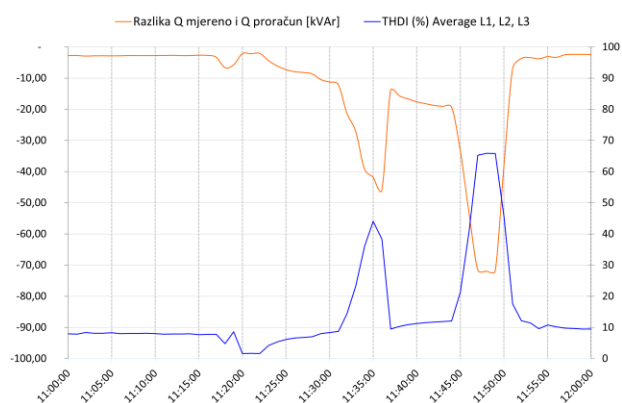
Slika 13. THD U po fazama [%]



Slika 14. THD I po fazama [% I_{max}]



Slika 15. Usporedba ukupne mjerene jalove snage i ukupne proračunate vrijednosti jalove snage [kvar]



Slika 16. Usporedba razlike ukupne mjerene jalove snage i ukupne proračunate vrijednosti jalove snage [kvar] i ukupnog harmonijskog izobličenja struje THD I [% I_{max}]

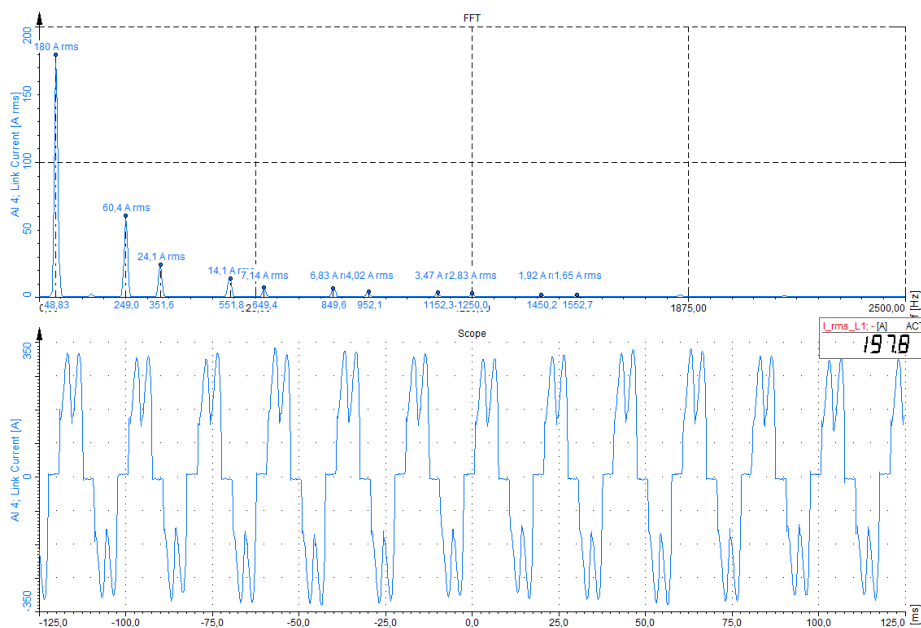
Uređaj za automatsku kompenzaciju je radio sa maksimalno 63 % instalirane snage (1- minutne srednje vrijednosti ukupne jalove snage dosežu 178 kvar). Ukoliko se iz 1-minutnih srednjih vrijednosti napona i struja izračuna ekvivalentna jalova snaga, može se doći do zaključka da je u trenucima maksimalne proizvodnje jalove snage uređaj bio 40 % preopterećen zbog pojave paralelne rezonancije i viših strujnih harmonika. Usporedbom mjerene jalove snage (jalova snaga osnovnog hamonika) i proračunate vrijednosti iz iznosa napona i struje vidljive su velike razlike u trenucima kada i ukupno harmonijsko izobličenje struje ima visoke vrijednosti (trenuci paralelne rezonancije) - Slika 15 i Slika 16. U trenucima maksimalnog opterećenja, kada nazivnom snagom rade i sva 3 frekvencijski regulirana elektromotora zabilježene su vrlo visoke vrijednosti ukupnog harmonijskog izobličenja napona od gotovo 9 %. Ukupno harmonijsko izobličenje struje (THD I u % I_{max}) u tim trenucima iznosi i do 75 %. Od naponskih harmonika su najizraženiji 11. (maks 6,60 %) i 13. harmonik (maks 5,65 %), a od strujnih 5. (maks 10,86 %), 7. (maks 21,72 %), 11. (maks 49,37 %), 13. (maks 49,37 %), 17. (maks 17,40 %), i 19. harmonik (maks 17,07 %). Može se isto tako uočiti da 5. strujni harmonik raste s povećanjem nelinearnog opterećenja, dok 7., 11., 13., 17., i 19. harmonik imaju najveće vrijednosti kada dva od tri i sva tri pretvarača rade punom pojedinačnom snagom.

3.3. Rezultati snimanja valnih oblika napona i struja na NN sabirnicama – ormar kompenzacije jalove snage u TS 10/0,4 kV na odvodu za regulirani elektromotor CTM 47103, i odvodu za kondenzatorske baterije KB 3, KB 6 i KB 7 (MT3)

Obavljena su snimanja valnih oblika napona u fazama L1, L2 i L3, te snimanja valnih oblika struja u fazi L1 na odvodu prema reguliranom elektromotoru CTM 47103 (mrežna strana frekvencijskog pretvarača), te u fazi L1 na odvodu kondenzatorskih baterija uređaja za kompenzaciju jalove snage KB 3 (nazivne snage 25 kvar), KB 6 (nazivne snage 50 kvar) i KB 7 (nazivne snage 50 kvar). Mjerenja su obavljena na način da je jedan po jedan regulirani elektromotorni pogon postizao punu snagu. Tijekom rada pojedinog reguliranog elektromotora, obavljeno je ručno sklapanje kondenzatorskih baterija, uz

napomenu da je KB 3 koja je u trenutku mjerenja bila snage 25 kvar (a predviđeno je 50 kvar) bila trajno uključena zbog neispravnog sklopnika. Cilj mjerenja je bio utvrditi eventualnu pojavu paralelne rezonancije za određeno uklopno stanje, i dobiti iznose naponskih harmonika i ukupnog harmonijskog izobličenja napona na NN sabirnicama, kao i izgled i harmonijski spektar valnih oblika struja na mrežnoj strani pretvarača i na kondenzatorskim baterijama.

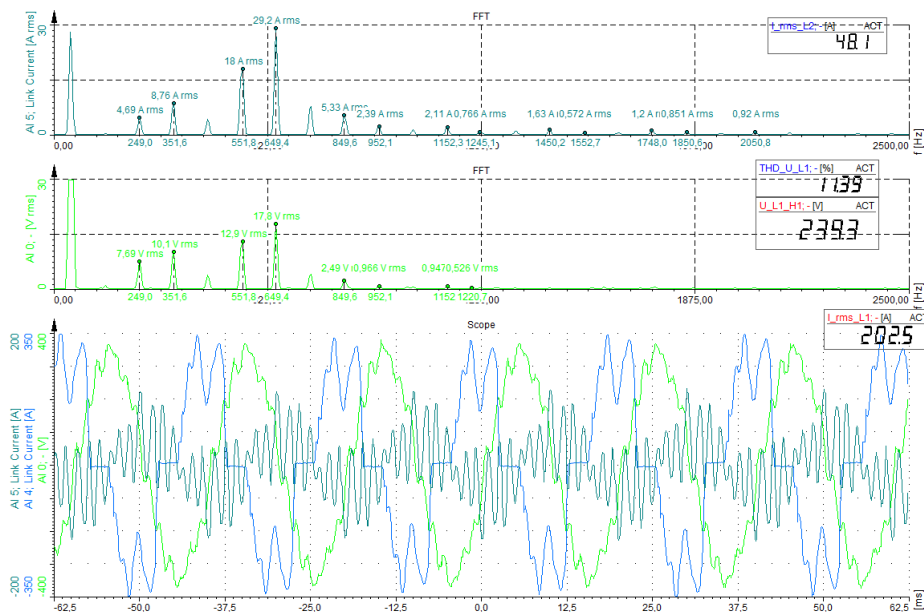
Na slici 17 je dan prikaz valnog oblika struje u fazi L1 na mrežnoj strani pretvarača i pripadajuća FFT analiza. Sa navedene slike je vidljivo da je na mrežnoj strani pretvarača 6-pulsni ispravljač (diodni most). Takav uređaj energetske elektronike u mrežu injektira harmonike reda $n \pm 1$ (p je pulsni broj, a n je cijeli broj), dakle 5., 7., 11., 13., 17., 19., itd. strujni harmonik.



Slika 17. FFT analiza valnog oblika struje u fazi L1 na mrežnoj strani pretvarača i valni oblik struje pretvarača

Tablica I. Harmonijski spektar struje na mrežnoj strani pretvarača

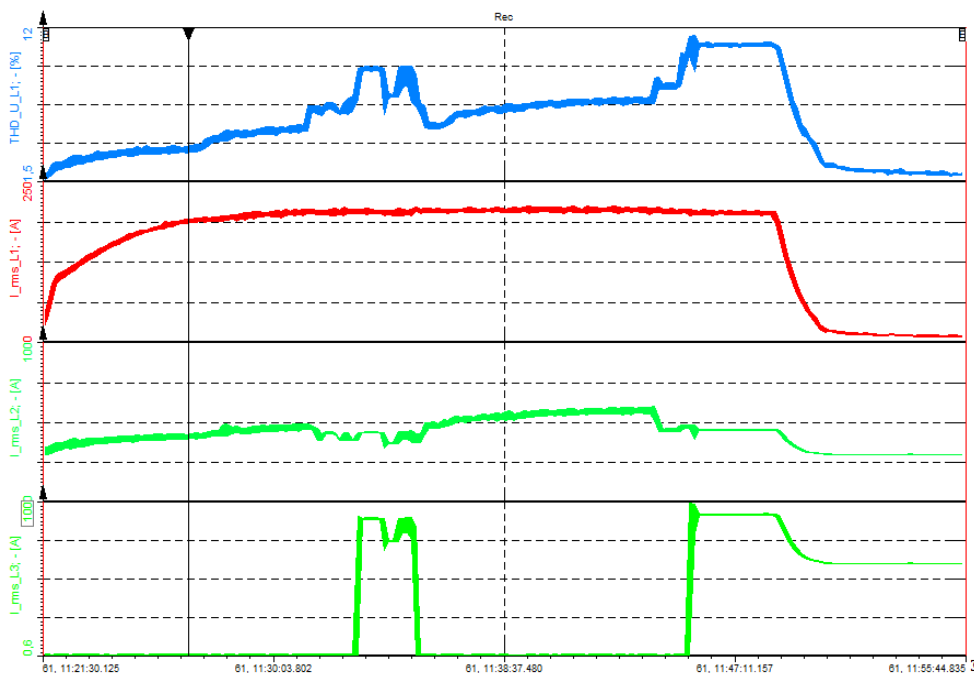
Harmoniiski spektar struje			
I_{h1} [A]	180		
I_{h5} [A]	60,4	I_{h5} [% I_{h1}]	33,56
I_{h7} [A]	24,1	I_{h7} [% I_{h1}]	13,39
I_{h11} [A]	14,1	I_{h11} [% I_{h1}]	7,83
I_{h13} [A]	7,14	I_{h13} [% I_{h1}]	3,97
I_{h17} [A]	6,83	I_{h17} [% I_{h1}]	3,79
I_{h19} [A]	4,02	I_{h19} [% I_{h1}]	2,23
I_{h23} [A]	3,47	I_{h23} [% I_{h1}]	1,93
I_{h25} [A]	2,83	I_{h25} [% I_{h1}]	1,57
I_{h29} [A]	1,92	I_{h29} [% I_{h1}]	1,07
I_{h31} [A]	1,65	I_{h31} [% I_{h1}]	0,92



Slika 18. FFT analiza valnog oblika struje u fazi L1 na kondenzatorskoj bateriji KB 3 i valnog oblika napona u fazi L1, te valni oblici u fazi L1: struje pretvarača, struje na KB 3 i napona

Tablica II. Analiza valnih oblika struja i napona sa slike 18.

Parametri	
I_{rms} L1 pretvarača [A]	202,5
I_{rms} L1 KB 3 [A]	48,4
$I_{nazivno}$ KB 3 [A]	36,08
preopterećenje KB 3 [%]	34,15
Strujni harmonici na KB 3- najviše vrijednosti	
I_{h11} [A]	18
I_{h13} [A]	29,2
I_{h1} [A]	29,3
I_{h11} [% I_{h1}]	61,43
I_{h13} [% I_{h1}]	99,66
Naponski harmonici na NN sabirnicama- najviše vrijednosti	
THD U [%]	11,39
U_{h11} [V]	12,9
U_{h13} [V]	17,8
U_{h1} [V]	239,3
U_{h11} [% U_{h1}]	5,39
U_{h13} [% U_{h1}]	7,44
Broj elektromotora s pretvaračem u radu	
3	CTM 47103 CTM 47104 CTM 47105
Napomena	KB 6 i KB 7 su u pogonu



Slika 19. Ukupno harmonijsko izobličenje napona u fazi L1, efektivna vrijednost struje na mrežnoj strani pretvarača u fazi L1, efektivna vrijednost struje KB 3 u fazi L1 i efektivna vrijednost struje KB 6 u fazi L1

Iz navedenih rezultata mjerenja se može zaključiti da dolazi do preopterećenja kondenzatorskih baterija uređaja za kompenzaciju jalove snage koji je priključen na NN sabirnice transformatora TA u TS 10/0,4 kV. Iznos efektivne vrijednosti struje na KB 3 je između 15 i 50 % veći od nazivne vrijednosti. Navedena pojava je posljedica pojave paralelne rezonancije zbog kombinacije rada reguliranih elektromotora sa frekvencijskim pretvaračima i uređaja za kompenzaciju jalove snage. Tijekom mjerenja je utvrđeno, da ovisno o trenutnoj uklopljenoj snazi kondenzatorskih baterija i načinu rada reguliranih elektromotora može doći do značajnih vrijednosti ukupnog harmonijskog izobličenja napona (i do gotovo 12 %). Zabilježene su visoke vrijednosti 11., 13., 17., 19., 23., 25., 29., i 31. strujnog i naponskog harmonika. Najveće vrijednosti izobličenja se javljaju u trenucima kada je na mrežu uklopljeno između 100 i 175 kvar jalove snage, dok regulirani elektromotorni pogoni rade punom snagom. Visoke vrijednosti izobličenja napona se javljaju zbog visokih vrijednosti 11. i 13. harmonika bez obzira radi li jedan, dva ili tri elektromotora, ali ukoliko je veća snaga nelinearnih trošila, i vrijednosti izobličenja su veće: Slika 18, Tablica II i Slika 19.

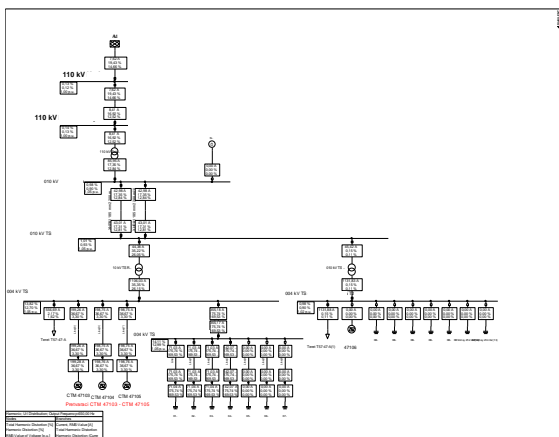
4. PRORAČUN FREKVENCIJSKOG ODZIVA MREŽE

Zbog mogućnost pojave paralelne rezonancije na NN sabirnicama u TS 10/0,4 kV, napravljen je model dijela mreže u programskom paketu DigSilent PowerFactory 13.1. Model je napravljen iz obavljenih mjerenja 2016. godine, na temelju dostavljenih podataka o elementima elektroenergetske mreže, uklopnom stanju, trolnoj snazi kratkog spoja na 110 kV sabirnicama, snagama i karakteru trošila priključenih na NN sabirnice, te podacima o kondenzatorskim baterijama uređaja za automatsku kompenzaciju jalove snage.

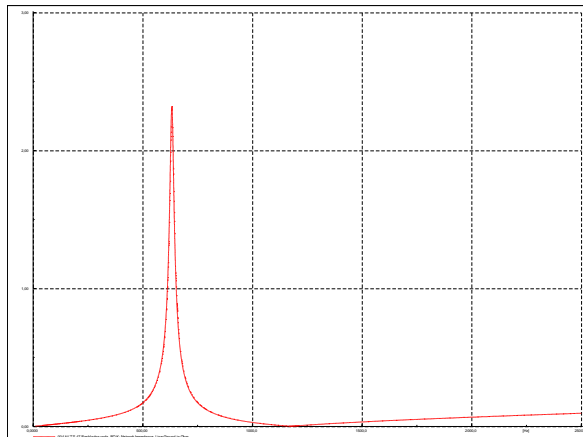
U TS 10/0,4 kV ugrađena su ukupno dva transformatora pojedinačne nazivne snage 1600 kVA koji ne rade u paralelnom pogonu. Svaki transformator napaja po pet elektromotora nazivne snage 160 kW. Transformator TA napaja sustav sabirnica N1 dok transformator TB napaja sustav sabirnica N2. Na jednom sustavu se napaja pet elektromotora CTM 47101 – 105 a na drugom CTM 47106 – 110. Frekvencijski pretvarači su ugrađeni na sljedeće motore: CTM 47103, CTM 47104, CTM 47105 i CTM 47106, tj. ukupno četiri pretvarača su ugrađena svaki sa svojom sinus prigušnicom na izlazu prema motoru. Harmonijski spektar valnog oblika struje na mrežnoj strani pretvarača Danfoss FC-102N160T4 je uzet na temelju mjerenja ovisno o modu rada pretvarača.

Rezultati proračuna su napravljeni za transformator TA, na kojem je priključena puno veća ukupna snaga nelinearnih trošila (3 od 4 regulirana elektromotora pojedinačne snage 160 kW). Proračuni

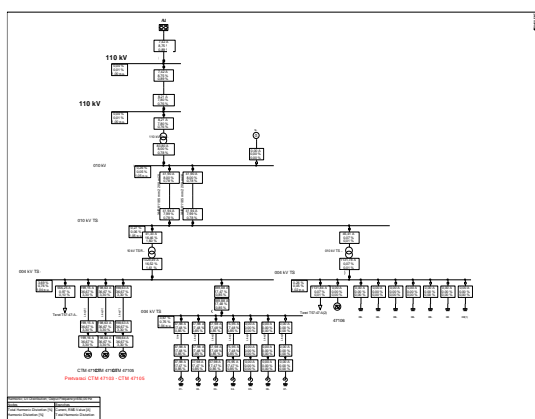
su napravljeni konzervativno, (za minimalnu snagu kratkog spoja na NN sabirnicama koja iznosi 20,4 MVA). U svim varijantama proračuna pretpostavljen je rad nelinearnih trošila punom snagom prema mjerenjima (sva tri regulirana elektromotora rade sa strujnim opterećenjem od 200 A RMS – ekvivalentna radna snaga je iznosila oko 143 kW), da bi se dobio uvid u najviše vrijednosti ukupnog harmonijskog izobličenja koje se mogu pojaviti na NN sabirnicama. Osim proračuna za postojeće stanje napravljeni su i proračuni nakon ugradnje filtarskih prigušnica ($p = 7\%$; $f_r = 189$ Hz) u uređaj za kompenzaciju jalove snage. U trenutku mjerenja je uređaj za kompenzaciju jalove snage imao ukupno 275 kvar (na 3. Stupnju KB 3 nedostaje jedna KB nazivne snage 25 kvar), te je na takav način napravljen model za simulacije.



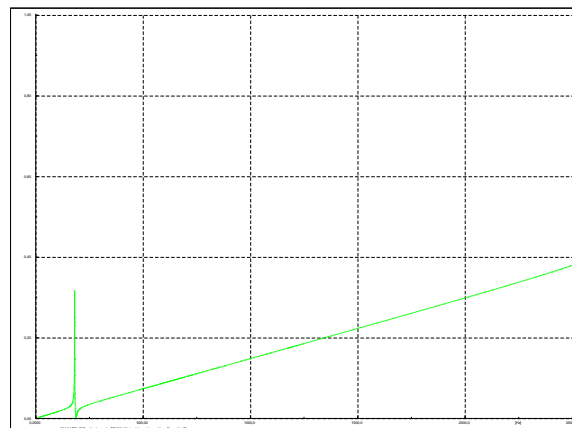
Slika 20. Postojeće stanje i 125 kvar KB



Slika 21. Frekvencijski odziv mreže



Slika 22. Sa filtarskom prigušnicom ($p = 7\%$; $f_r = 189$ Hz)



Slika 23. Frekvencijski odziv mreže sa prigušnicom

Iz rezultata provedenih proračuna se može zaključiti da su vrijednosti ukupnog harmonijskog izobličenja napona na NN sabirnicama u RO kompenzacije na TA povećane za postojeće stanje u slučaju kada osim rada frekvencijski reguliranih elektromotora radi i uređaj za kompenzaciju jalove snage. Ukupno harmonijsko izobličenje napona iznosi 4,33 % kada je uređaj za kompenzaciju jalove snage isključen, a kreće se između 6,33 i 14,11 % kada je uređaj za kompenzaciju jalove snage uključen, ovisno o iznosu jalove snage koji daje u mrežu, što je značajno. Rezonantna frekvencija mreže za postojeće stanje se kreće između 428 i 1378 Hz kada je uređaj za kompenzaciju jalove snage u pogonu. Kada je uređaj za kompenzaciju jalove snage isključen mreža ima čisto induktivni karakter. U slučaju ugradnje filtarskih prigušnica ($p = 7\%$; $f_r = 189$ Hz) rezonantna frekvencija se kreće između 173 i 187,5 Hz.

Obzirom da je vidljivo da su iznosi ukupnog harmonijskog izobličenja napona povećani preko 8% za više različitih uklopnih stanja uređaja za kompenzaciju jalove snage i zbog utjecaja različitih naponskih harmonika (U_{h29} , U_{h19} , U_{h17} , U_{h13} , U_{h11}) može se zaključiti da je potrebno ugraditi filtarske prigušnice sa minimalno $p = 7\%$, ciljane $f_r = 189$ Hz.

5. ZAKLJUČAK

U industrijskom postrojenju u TS 10/0,4 kV su obavljena mjerenja kvalitete napona, opterećenja i viših harmonika struja kada je uređaj za kompenzaciju jalove snage bio isključen i kada su bili uključeni stupnjevi uređaja za kompenzaciju. Rezultati mjerenja su poslužili i kao ulazni podaci za izradu modela za utvrđivanje frekvencijskog odziva mreže ovisno o broju uklopljenih stupnjeva kondenzatorskih baterija. Obzirom da su iznosi ukupnog harmonijskog izobličenja napona povećane preko 8% za više različitih uklopnih stanja uređaja za kompenzaciju jalove snage i zbog utjecaja različitih naponskih harmonika (Uh29, Uh19, Uh17, Uh13, Uh11) može se zaključiti da je potrebno ugraditi filtarske prigušnice sa minimalno $p = 7\%$, ciljana $f_r = 189$ Hz.

Prilikom nabave frekvencijskog pretvarača za regulaciju elektromotornog pogona, osim o uštedi energije, potrebno je uzeti u obzir i negativan utjecaj na mrežu zbog pojave viših harmonika. Napojnu mrežu nije moguće zaštititi od harmonijskog izobličenja u slučaju ugradnje frekvencijskog pretvarača na neki elektromotorni pogon, ali je taj utjecaj moguće smanjiti. Neki od načina za smanjenje utjecaja nelinearnog trošila na mrežu su: povećanje snage kratkog spoja na mjestu priključka nelinearnog trošila, za frekvencijske pretvarače na mrežnoj strani povećati broj pulsova, ugradnja filtara za određene više harmonike struje, u slučaju postojanja uređaja za kompenzaciju jalove snage, potrebno je ugraditi filtarske prigušnice zbog mogućnosti pojave paralelne rezonancije. Niti jedna od navedenih metoda za nije jeftina, stoga je uvijek prilikom nabave novog pretvarača potrebno napraviti tehno-ekonomsku analizu i pronaći optimalno rješenje za dani slučaj.

5. LITERATURA

- [1] IEC 61000-3-4:1998 "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 4: Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A
- [2] IEC 61000-3-12:2011 "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 12: Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current >16 A and ≤ 75 A per phase
- [3] IEC 61000-3-6:2008 "Electromagnetic compatibility (EMC), Part 3: Limits, Section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems