Niskonaponski sklopni blok 2x1000 A s pripadajućom kompenzacijom

Lagator, Antonio

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:682464

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Stručni studij elektrotehnike, smjer Elektroenergetika

NISKONAPONSKI SKLOPNI BLOK 2×1000 A S PRIPADAJUĆOM KOMPENZACIJOM

Završni rad

Antonio Lagator

Osijek, 2016.

Sadržaj:

1.UVOD 1

2. NISKONAPONSKI SKLOPNI BLOK 2

3. KOMPENZACIJA JALOVE SNAGE 6

3.1. Jalova snaga 7

3.2. Potrošači i izvori jalove snage 9

3.3. Kondenzatorske baterije 10

3.4. Naplata jalove energije 13

3.5. Načini kompenzacije 14

4. POSTUPAK ODABIRA I DIMENZIONIRANJA KOMPENZACIJE 18

4.1. Orijentacijski odabir kompenzacije uz poznavanje opterećenja 18

4.2. Određivanje kompenzacijske snage po računu za struju 20

5. PRORAČUN KOMPENZACIJE NA NISKONAPONSKOM SKLOPNOM BLOKU 2×1000 A 21

6. ZAKLJUČAK 33

LITERATURA 34

SAŽETAK: 35

ŽIVOTOPIS: 36

PRILOZI: 37

1. UVOD

Tema završnoga rada je niskonaponski sklopni blok 2×1000 A s pripadajućom kompenzacijom. U ovome radu pojasniti ćemo svrhu kompenzacije u industrijskim postrojenjima. Opisati ćemo niskonaponski sklopni blok u jednome poglavlju, zatim blok kompenzacije u idućemu poglavlju. Pokazati ćemo od čega se sastoji kompenzacija i u kakvome sklopu se ugrađuje u industrijske pogone. Prikazati ćemo proračun kompenzacije i načine na koje se ona može projektirati. Opisati ćemo mjerenja koja su izvršena na dolaznim kabelima jednoga transformatora i na sabirnicama od kompenzacijskoga dijela niskonaponskoga sklopnoga bloka. Trafostanica se sastoji od dva transformatora od 630 kVA istih vrijednosti koji rade u paraleli. Zbog manjka instrumenata parametri su mjereni samo na transformatoru T2. U računskom postupku ćemo pretpostaviti da su transformatori simetrično opterećeni i snagu mjerenu na transformatoru T2 množiti ćemo sa 2 kako bi dobili približnu vrijednost snaga oba transformatora.

2. NISKONAPONSKI SKLOPNI BLOK

Niskonaponski sklopni blok sastavni je dio transformatorske stanice 10(20)/0.4 kV Uljara 1 snage 2×360 kVA. Dimenzioniran je za napajanja stare kotlovnice, nove kotlovnice, bravarske radionice, strojarnice, silosa, upravne zgrade i crpne stanice. Niskonaponski sklopni blok izveden je sa sa pet polja (+N1 do +N5) od kojih je polje +N1 transformatorsko polje transformatora T2, a polje +N5 transformatorsko polje transformatora T1. Polja +N1, +N2 i +N5 su razvodna polja za napajanje potrošača dok su polja +N3 i +N4 polja kompenzacije jalove energije.

Niskonaponski sklopni blok ima sljedeće osnovne tehničke karakteristike:

1. Nazivni napon 0,4 kV
2. Nazivna struja sabirnica 2000 A
3. Nazivna frekvencija 50 Hz
4. Nazivna kratkotrajna podnosiva struja kod napona od 0.4 kV 25 kA/1s
5. Mehanički stupanj zaštite IP 23

Sabirnice su izvedene plosnatim bakrom:

1. Fazni vodiči na ulazu u transformatorska polja dimenzija 80x10 mm
2. Fazni vodiči na razvodnim poljima dimenzija 120x10 mm
3. N i PE vodiči dimenzija 60x10 mm
4. Fazni vodiči u poljima kompenzacije dimenzija 60×10 mm

Kućište niskonaponskog sklopnog bloka izrađeno je od dekapiranog (kemijski očišćenog od hrđe) lima debljine 2 mm zaštićeno plastificiranjem i učvršćeno vijcima dimenzije kućišta pojedinog polja su 800×600×2000+200 (dužina×dubina×visina) mm.

Niskonaponski razvod je opremljen prekidačima NW10H1 3P 1000A s mikroprocesorskom zaštitom, okidačem za iskop mjerni modulom za mjerenje struja i napona te komunikacijskim modulom. U fazi L1 ugrađen je jedan SMT koji se koristi za potrebe automatske regulacije kompenzacije jalove energije.

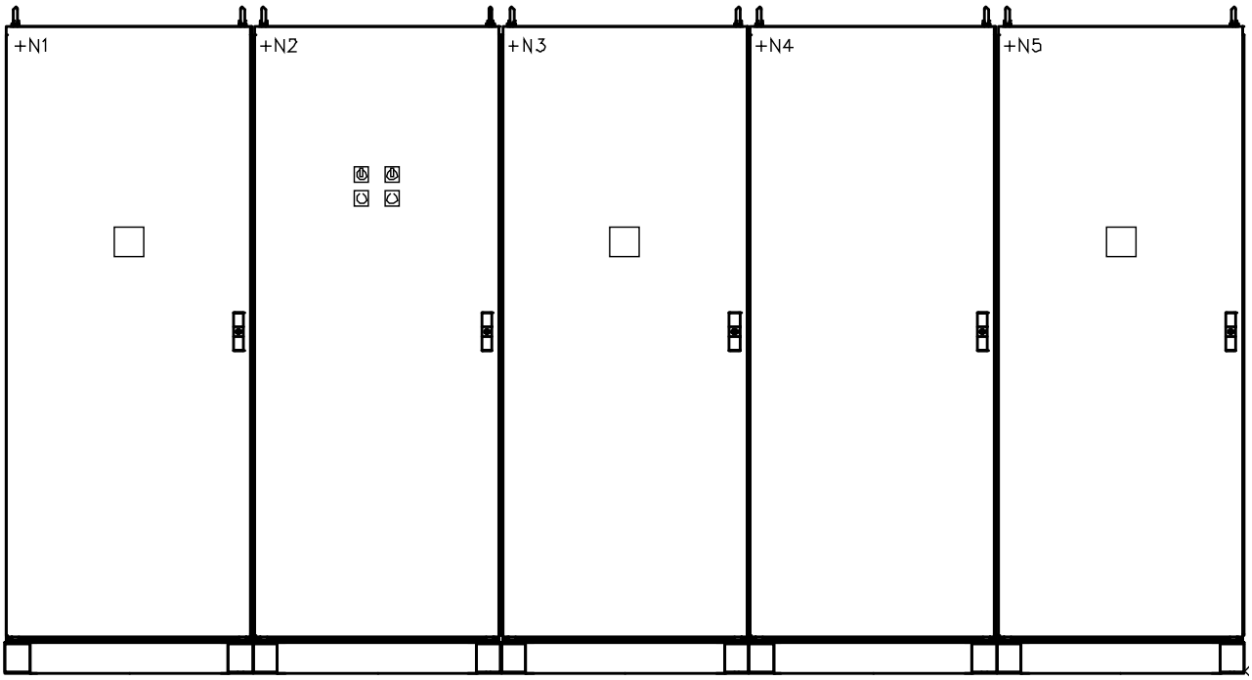
Za mjerenje i nadzor karakterističnih veličina (struja, napon, frekvencija, radna snaga [P], jalova snaga [Q] i prividna snaga [S] ugrađeni su mjerni terminali PM3255. Na prekidače

transformatorskih polja ugrađen je komunikacijski modul koji preko zaslona na vratima pojedinih transformatorskih polja prikazuje navedene mjerne veličine.

Zaštita niskonaponskoga bloka izvedena je tako da svi elementi koji su predmet bliskog i čestog dodira su izolirani i zaštićeni čime je postignuta maksimalna zaštita od indirektnog napona dodira.
Za zaštitu na niskonaponskoj strani transformatorskih polja ugrađena je mikroprocesorska zaštita prekidača Micrologic 2.0E koja služi za zaštitu transformatora od preopterećenja i kratkoga spoja. Na odvodima transformatorskih polja izvedena je zaštita visokoučinskim rastalnim osiguračima velike prekidne moći. Nadstrujna i kratkostrujna zaštita postavljena je na niskonaponskoj strani i srednjenaponskoj strani sklopnoga bloka

Transformatori su zaštićeni termoprotektorima i Bucholz relejima.
Omogućeno je da kod djelovanja termoprotektora (85°C i 95°C) i Bucholz releja na svim transformatorskim poljima izlazni kontakt djeluje na isklop niskonaponskog i srednjenaponskog prekidača pojedinog transformatorskog polja.
Cijeli niskonaponski blok zaštićen je i Rjp tipkalom koji prilikom svoga uklopa djeluje na isklop svih niskonaponskih i srednjenaponskih prekidača transformatorskih polja.

Uzemljenje je izvedeno kao združeno zaštitno i radno uzemljenje. Unutar transformatorske stanice izvedena je zaštita od previsokog napona dodira izjednačenjem potencijala, tj. spajanjem svih metalnih dijelova (koji u nominalnom pogonu nisu pod naponom) na zaštitno uzemljenje.
Sa sabirnog voda unutarnjeg uzemljenja trafostanice izvedeni su i odcijepi za uzemljenje svih metalnih konstrukcija, uključujući i niskonaponski sklopni blok s ugrađenom elektroopremom. Na PE sabirnicu niskonaponskog sklopnog bloka spajaju se sva metalna kućišta elektroopreme sklopnog bloka te se povezuju preko predviđenih vijaka na zaštitno uzemljenje, kao i sve kabelske glave (metalni dijelovi), zaštitni plaštevi kabela i ekrani energetskih kabela, odvodnici prenapona, neutralni vodič niskonaponske mreže i sekundarni strujni krugovi mjernih transformatora.



Slika 2.1. Prikaz vanjske strane niskonaponskog sklopnog bloka

Polja po svojstvima:

1. +N1 je polje razvoda za potrošače
2. +N2 je polje razvoda za potrošače
3. +N3 je polje kompenzacije jalove energije
4. +N4 je polje kompenzacije jalove energije
5. +N5 je polje razvoda za potrošače

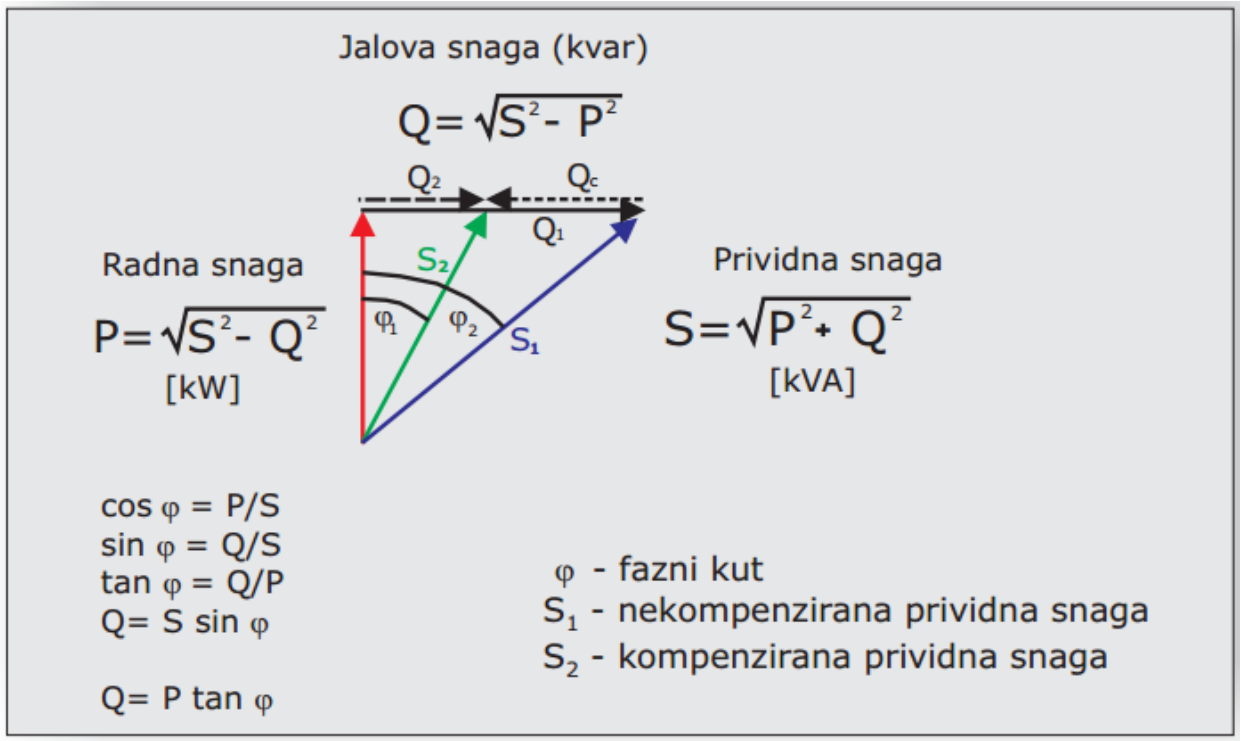


Slika 2.2. Prikazuje shemu unutrašnjosti niskonaponskoga bloka

3. KOMPENZACIJA JALOVE SNAGE

U izmjenični sustavima postoje tri snage:

1. Prividna snaga (S)
2. Radna snaga (P)
3. Jalova snaga (Q)



Slika 3.1. Prikaz trokuta snaga [4]

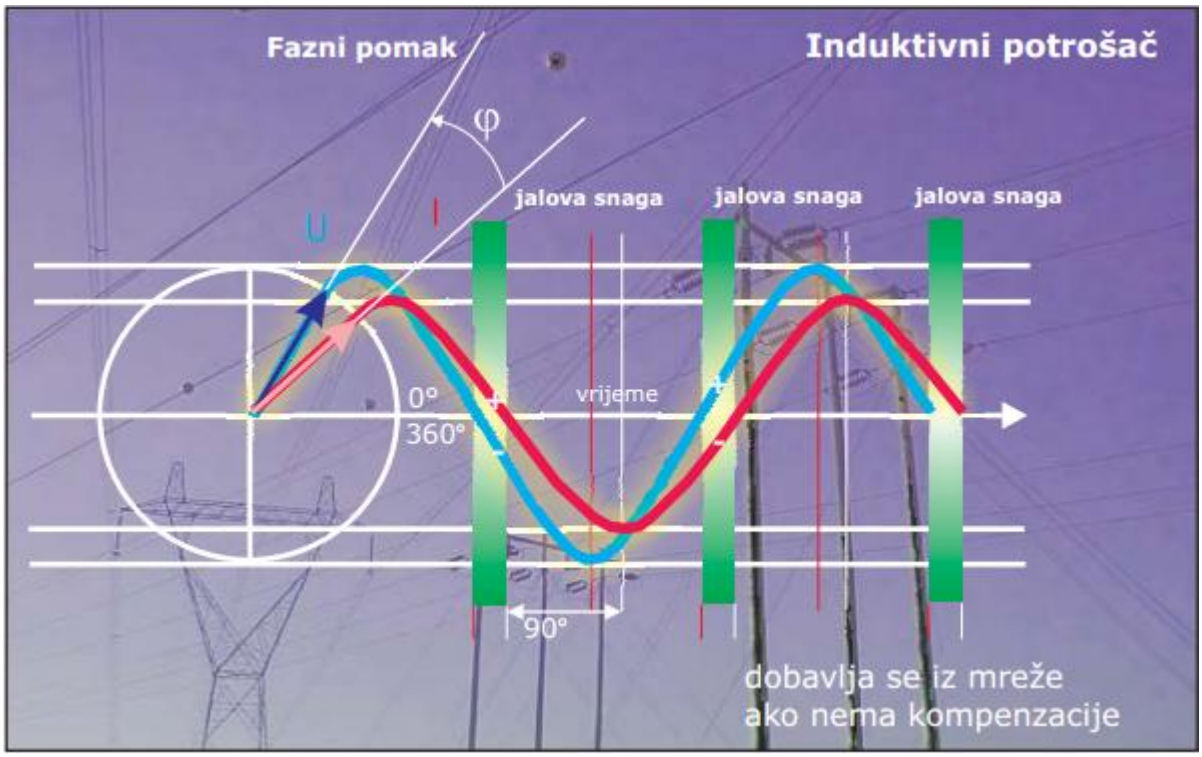
Prilikom rada uređaji uzimaju energiju iz mreže potrebnu za svoj rad. Djelatni potrošači koriste samo radnu energiju za svoj rad za razliku od velikih ustanova (npr. bolnice, vojarne, fakulteti) i industrijskih pogona u kojima možemo vidjeti velik broj induktivnih trošila kojima je za rad potrebna i jalova snaga. Budući da jalova snaga nepotrebno opterećuje mrežu distributer električne energije naplaćuje jalovu energiju zabilježenu na mjernom uređaju ukoliko je njezina vrijednost veća od 1/3 utrošene radne energije što vrijednosti za cosφ=0,95. Kako bi se smanjilo uzimanje jalove snage iz mreže i njeno naknadno plaćanje u pogone u kojima ima dosta induktivnih trošila instaliraju se uređaji koji će nadomjestiti potrebnu jalovu snagu. Ekonomičnost uređaja za kompenzaciju je velika, u načelu investicija uložena u uređaj za kompenzaciju jalove snaga vrača se u prvoj godini eksploatacije.

3.1. Jalova snaga

Snaga uzeta iz mreže jednaka je umnošku napona i struje, što vrijedi za djelatne potrošače kod periodički promjenjivih veličina sinusnog oblika (žarulje, grijači). Tada struja vremenski ne kasni za naponom odnosno nema faznog pomaka φ tj. struja i napon prolaze kroz nulu u isto vrijeme. Kod djelatnih potrošača budući da je snaga pretvorena u rad, koristimo termin radna tj. djelatna snaga.

Potrebna energija za nastanak induktivnih polja ne može se pretvoriti u radnu (djelatnu) snagu, zato snagu koja je potrebna za nastanak magnetskih polja zovemo jalova snaga sa oznakom Q i mjernom jedinicom kVAr.

Za rad induktivnih potrošača (transformatori, motori) čiji induktivni otpor uzrokuje fazni pomak φ za neki kut, odnosno kašnjenje struje za naponom u prolasku kroz nulu potrebna je jalova snaga.



Slika 3.2. Prikaz jalove snage u izmjeničnom sustavu induktivnog potrošača [4]

Pri prijenosu i razdiobi električne energije jalovi dio energije je beskoristan i nepotrebno opterećuje mreže, zato ga treba održavati na najnižim mogućim vrijednostima što omogućava uređaj za kompenzaciju jalove snage.

Uređaj za kompenzaciju jalove snage sprječava prijenos jalove snage mrežom, odnosno stvara jalovu snagu za rad induktivnih potrošača u njihovoj neposrednoj blizini. Kod kondenzatora koji

je kapacitivni potrošač jalova struja prethodi naponu tada se udjeli kapaciteta i induktiviteta međusobno izjednačavaju i na toj pojavi se odvija kompenzacija jalove snage u mreži.
Kada imamo instalirani uređaj za kompenzaciju tada jalova snaga neće biti uzeta iz mreže, već iz samoga uređaja za kompenzaciju jalove snage. Pri nominalnom radu moramo osigurati da vrijednosti magnetski i električnih polja tj. induktiviteta i kapaciteta budu istih vrijednosti, ali suprotnog predznaka, taj postupak naziva se kompenzacija jalove snage.

Vrste kompenzacija su:

1. Fiksna kompenzacija (pojedinačna ili grupna)
2. Automatska kompenzacija

Kod fiksnih kompenzacija bilo pojedinačnih ili grupnih mora se osigurati da kondenzatorska baterija bude uključena u vrijeme kada je uključen jedan potrošač ili grupa potrošača, kako ne bi došlo do prekompenziranja.
Fiksna kompenzacija se primjenjuje kod manjeg broja jakih induktivnih trošila.
Automatski uređaji za kompenzaciju jalove snage koristimo kad nam u postrojenju postoji velik broj induktivnih potrošača manjih snaga sa čestim uklopima i isklopima. Automatski uređaj jalove snage opremljen je mikroprocesorskim regulatorom koji na osnovi parametara iz mreže uklapa i isklapa određene kondenzatorske grupe, te na taj način održava faktor snage ($\cos\varphi$) u granicama između 0,95 do 1 induktivno. Između te dvije vrijednosti potrošnja jalove energije ne prelazi 1/3 utrošene radne energije i distributer električne energije dodatno ne naplaćuje potrošnju jalove energije.
Prilikom odabira tipa kompenzacije moramo biti upoznati sa pogonom u koji se ona postavlja. Moramo znati količinu, instaliranu snagu, tip induktivnih trošila i način na koji rade ta trošila kako bi pravilno odabrali tip kompenzacije.
U niskonaponskim i srednjenaponskim mrežama, osim struja standardne frekvencije od 50 Hz, dolazi do pojave struja viših harmonika. Njihova pojava ovisi o više faktora u mreži i jako teško su predvidljiva. Najčešće njihovo prisustvo utvrdimo tek kada oni uzrokuju ne mala oštećenja i štete na električnim uređajima i uređajima za kompenzaciju jalove snage.
Ukoliko imamo saznanja da je pojava struja viših harmonika moguća u mreži, tada je potrebno odabrati uređaj za kompenzaciju jalove snage koja u sebi sadrži antirezonantne filterske prigušnice. [1]

3.2. Potrošači i izvori jalove snage

Potrebe za jalovom snagom javljaju se iz dva razloga:

1. Zbog jalovog opterećenja koje čine sami potrošači
2. Zbog jalovog opterećenja uzrokovanog elementima elektroenergetskog sustava

Najizrazitiji potrošači jalove snage su asinkroni elektromotori, uređaji energetske elektronike (najčešće upravljivi ispravljači i frekvencijski pretvarači) te transformatori.

Najveći izvori jalove snage u elektroenergetskom sustavu su sinkroni generatori i kondenzatorske baterije.

Kompenzacijom jalove snage rasterećujemo mrežu od tokova jalovih snaga, što utječe i na smanjenje prividnih opterećenja elemenata mreže (vodova, transformatora i generatora). Posljedica toga su poboljšane naponske prilike i smanjeni gubitci.

Prilikom projektiranja kondenzatorskih uređaja za kompenzaciju moramo voditi računa o utjecaju kondenzatorskih baterija na mrežu u koju priključujemo uređaj za kompenzaciju.

3.3. Kondenzatorske baterije

Koriste se u mrežama niskog, srednjeg i visokog napona. Snaga im se kreće od nekoliko desetaka ili stotina Var-a do nekoliko MVAr-a. Jalova snaga proizvedena u kondenzatorskim baterijama proporcionalna je kvadratu priključenog napona. Kondenzatorske baterije imaju spor odziv na dinamičke pojave u sustavu, ali u gospodarstvenom pogledu imaju velike prednosti u odnosu na druge načine kompenzacije.

Prednosti kondenzatorskih baterija su:

- Niski investicijski troškovi
- Niski troškovi održavanja
- Mala izloženost kvarovima
- Jednostavna ugradnja za kratko vrijeme što ih čini prikladnima za široku primjenu u elektroenergetskom sustavu

Neki od osnovnih utjecaja kondenzatorskih baterija na mrežu su:

- Kondenzatorske baterije povećavaju udarnu i početnu struju kratkog spoja ovisno o količini energije sadržane u bateriji u trenutku kvara
- Kondenzatorske baterije priključene na mrežu mijenjaju ekvivalentnu impedanciju mreže i u nekim slučajevima postoji mogućnost pojave rezonancije i ferorezonancije
- Pojava viših harmonika dodatno opterećuje kondenzatorsku bateriju
- Struje uklapanja su visoke frekvencije i dostižu vrlo veliku vrijednost pogotovo kod paralelnog uklapanja baterija
- Sklopne operacije s kondenzatorskim baterijama postavljaju posebne zahtjeve na prekidače, jer postoji mogućnost stvaranja visokih povratnih napona
- Snaga baterije se mijenja s kvadratom napona [1]

Razlozi za kompenzaciju jalove energije:

1. Ekonomski – smanjenje troškova za jalovu energiju i smanjenje troškova vršnog opterećenja
2. Tehnički – smanjenje gubitaka u mreži, smanjenje pada napona, rasterećenje primarne mreže
3. Ekološki – zamjena starih i otrovnih PCB kondenzatora [2]



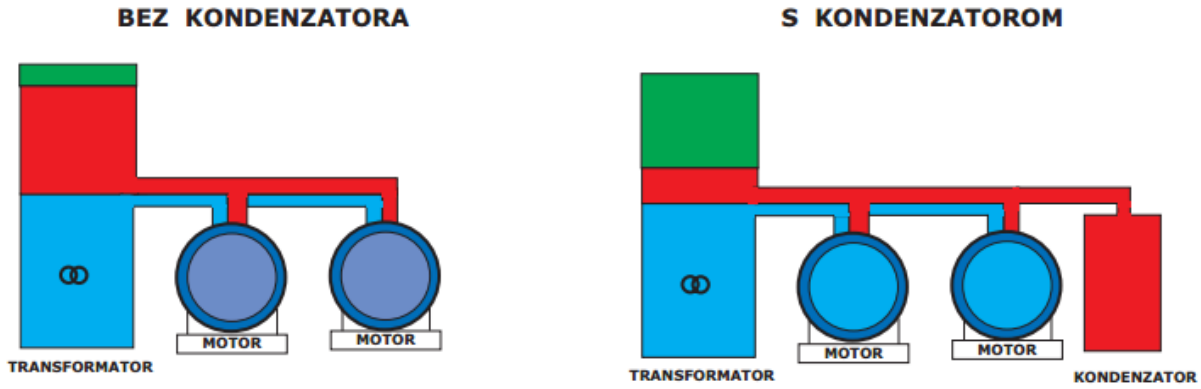
Slika 3.3. Prikaz kondenzatorskih baterija i njihovih sklopnika u niskonaponskom sklopnom bloku u polju +N3

Polja za kompenzaciju jalove snage (+N3 i +N4)

U navedenom sklopnom bloku kompenzacija jalove energije sastoji se od 12 stupnjeva s ukupno 537,5 kVAr, od kojih je 10 stupnjeva po 50 kVAr, 1 stupanj 25 kVAr i 1 stupanj 12,5 kVAr. Kompenzacijom upravlja mikroprocesorski regulator ESTAmat MH12 koji uključuje broj stupnjeva prema potrebama.



Slika 3.4. Natpisna pločica kondenzatorske baterije



Slika 3.5. Utjecaj kondenzatora na snage u postrojenju, gdje plava boja predstavlja radnu snagu, crvena boja predstavlja jalovu snagu a zelena boja raspoloživu radnu snagu [4]

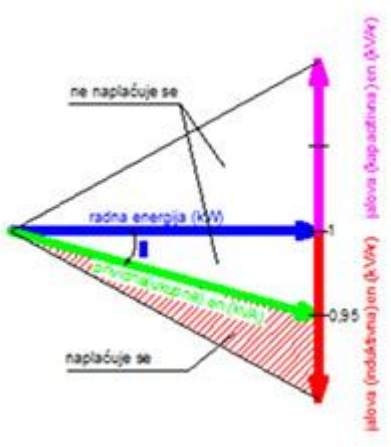
Prekomjerna preuzeta jalova energija

Prekomjerno preuzeta jalova energija je pozitivna razlika između stvarno preuzete jalove energije i jalove energije koja odgovara cosφ=0,95 tj. Preuzeta jalova energija koja prelazi 33% preuzete radne energije.

3.4. Naplata jalove energije

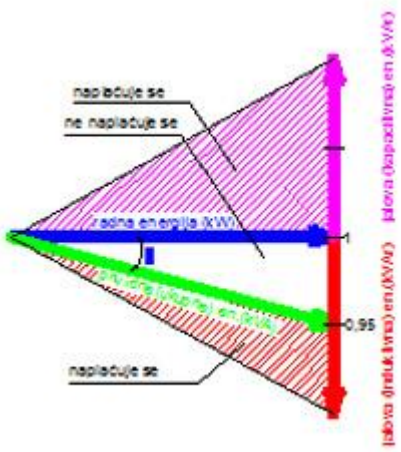
Naknadu za prekomjernu jalovu energiju ne plaćaju kupci kategorije kućanstvo i kategorije javna rasvjeta. Kupci kategorije poduzetništvo (osim javne rasvjete), koji održavaju faktor snage od 0,95 do 1, ne plaćaju naknadu sve dok im se faktor snage ne smanji ispod 0.95. [7]

Do 01.01.2011. godine naplaćivala se samo prekomjerno preuzeta induktivna jalova energija, tj. Jalova energija koju su preuzeli induktivni potrošači (transformatori, motori, prigušnice i ostali) i to ako je preuzeto jalove energije preko 33% utrošene radne energije što odgovara faktoru snage cosφ=0,95, ukoliko je faktor snage cosφ=1 preuzeta jalova energija iznosi 0% utrošene radne energije.



Slika 3.6. Prikazuje graf plaćanja jalove energije do 01.01.2011. godine [1]

Od 01.01.2011. godine naplaćuju se prekomjerno preuzeta jalova energija u cjelokupnim količinama. U obzir se uzimaju jalova energija koju su preuzeli induktivni potrošači (transformatori, motori, prigušnice i ostali) i jalova energija koju su uzrokovali nekvalitetne kompenzacije jalove snage. Zbroj induktivne i kapacitivne jalove energije znatno će prijeći 33% utrošene radne energije odnosno vrlo je vjerojatno da će u nekim slučajevima biti prekomjerno preuzeta jalova energija veća od radne energije što će osjetno povećati račune za struju. [3]

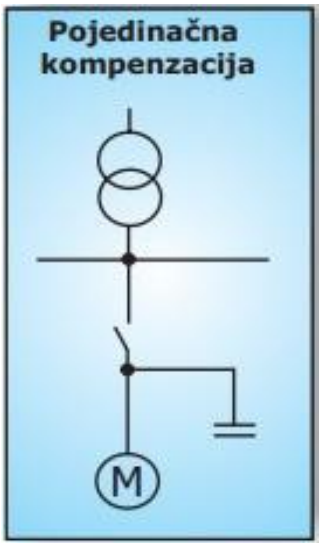


Slika 3.7. Prikazuje graf plaćanja jalove energije od 01.01.2011. godine na dalje [1]

3.5. Načini kompenzacija

Pojedinačna kompenzacija

Pojedinačna kompenzacija sastoji se u tome da se svaki potrošač kompenzira priključivanjem kondenzatora određenog iznosa na svoje stezaljke ili u njegovoj blizini. [1]



Slika 3.8. Shema pojedinačne kompenzacije [1]

Prednosti:

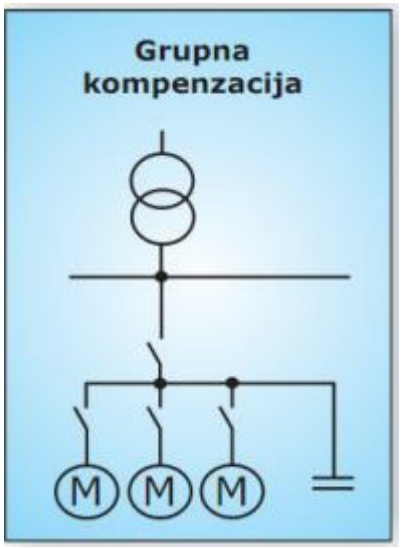
- Rasterećivanje čitavog odvoda on prijenosa jalove snage
- Koriste se za veće snage (>20kW)
- Stalne su snage koja pretežito rade u stalnom pogonu
- U pravilu nisu potrebni dodatni sklopni uređaji
- Ekonomičnija je pojedinačna kompenzacija kod potrošača

Nedostatci:

- Nešto skuplja zbog ugradnje manjih kondenzatora koji služe kompenzaciji samo jednog uređaja i ne mogu poslužiti kompenzaciji drugog uređaja dok je njihov uređaj isključen

Grupna kompenzacija

Grupna kompenzacija omogućava da jedan kondenzator djelomično ili potpuno kompenzira više potrošača ovisno o faktoru istovremenosti. Ako se potrošači pojedinačno uključuju tada mora i kondenzator sadržavati sklopnik koji se uključuje samo onda kada su svi potrošači u pogonu ili se instalira regulirani uređaj za kompenzaciju. Jalova struja i gubici na ovaj način se smanjuju u razdjelnim vodovima ali ne i u vodovima između razdjelnika i potrošača. Iz ekonomskih razloga često se velika rasvjetna postrojenja kompenziraju u grupama. Ugradnjom automatike uz uključivanje ili isključivanje pojedinih kondenzatorskih jedinica dobiti će se bolja kompenzacija u postrojenju. [1]



Slika 3.9. Shema grupne kompenzacije [1]

Prednosti:

- Jeftinija u odnosu na pojedinačnu kompenzaciju pogotovo ako je faktor istodobnosti znatno manji od 1

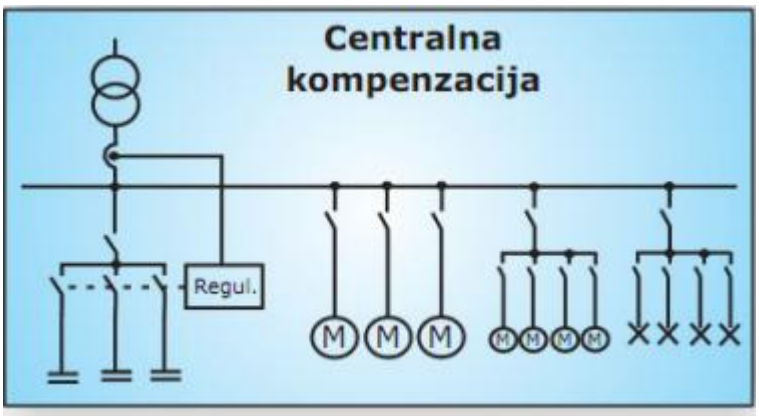
Nedostatci:

- Dovodi od mjesta kompenzacije do potrošača nisu rasterećeni od jalovih snaga

Centralna kompenzacija

Centralna kompenzacija je ona kod koje je cijela snaga kompenzacije smještena na jednom mjestu, to jest centralno. Takva kompenzacija se ugrađuje na sekundarnu stranu transformatora preko koje se isporučuje energija postrojenju. Potrebna jalova snaga kondenzatora je sada najmanja jer uzimamo u obzir cijelo postrojenje i njegov faktor istodobnosti.

Pogoni s promjenjivim potrebama jalove snage ne dopuštaju čvrstu kompenzaciju jer može doći do ne ekonomične podkompenzacije ili ne ekonomične i opasne prekompenzacije. Potrebna snaga kondenzatora mora se prilagoditi promjenjivim potrebama jalove snage, ona se dobiva stupnjevitom kompenzacijom. Stupnjevita kompenzacija osim sklopnika i kondenzatorskih baterija mora sadržavati i regulator jalove snage koji na mjestu napajanja mjeri jalovu snagu. On tada na izmjerenim odstupanjima od zadane vrijednost faktora snage cosφ prema potrebama isključuje ili uključuje kondenzatorske baterije po stupnjevima. [1]



Slika 3.10. Shema centralne kompenzacije [1]

Prednosti:

- Snaga kondenzatora automatski se prilagođava potrebnoj jalovoj snazi postrojenja
- Lagani nadzor nad kompenzacijom
- Relativno jednostavna nadogradnja modula ili proširenja

Nedostatci:

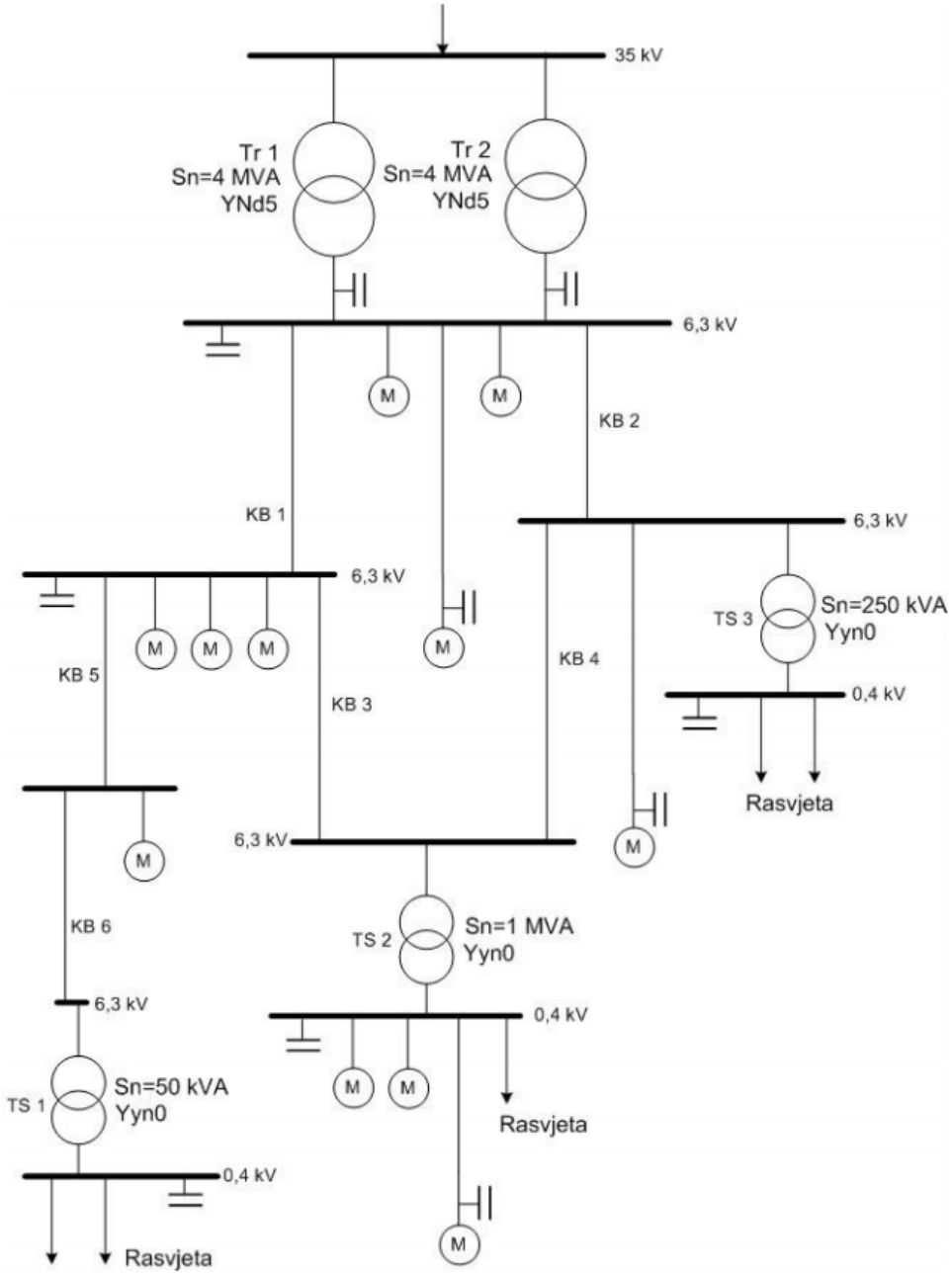
- Cijelo postrojenje opterećeno velikim tokovima jalovih snaga

Mješovita kompenzacija

Mješovita kompenzacija je kombinacija prethodno opisanih vrsta kompenzacija i najčešće se koristi u industrijskim pogonima i velikim ustanovama. Jedan dio jalove energije se kompenzira centralno na niskonaponskoj strani transformatora, najčešće uz primjenu regulirane kondenzatorske baterije.

Transformatore i izdvojene motore koji se napajaju preko dugih kabela tada se kompenzira pojedinačno.

Grupna kompenzacija se primjenjuje za grupu motora koji su priključeni na pojedinim razdjelnicima i za rasvjetu pojedinih prostora.



Slika 3.11. Shema mješovite kompenzacije [1]

4. POSTUPAK ODABIRA I DIMENZIONIRANJA KOMPENZACIJE

4.1. Orijentacijski odabir kompenzacije uz poznavanje opterećenja

Pri izgradnji postrojenja, velikih ustanova distributer električne energije ili neko drugo distributivno poduzeće u elektroenergetskoj suglasnosti za priključak novih potrošača zahtjeva da faktor snage cosφ bude u granicama od 0,95 do 1 induktivno. Iz toga razloga u projektima elektroenergetskih instalacija za nove objekte ili objekte u remontu po potrebi treba predvidjeti ugradnju uređaja za kompenzaciju jalove snage.

Potrebnu snagu uređaja za kompenzaciju možemo izračunati iz sljedećih podataka:

- Vršna snaga P (kW)
- Faktor snage postrojenja kojeg kompenziramo ($\cos\varphi_1$)
- Faktor snage kojeg želimo postići kompenzacijom ($\cos\varphi_2$)

Snaga uređaja za kompenzaciju Q (kVAr) izračuna se kao:

$$Q=P\times(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2)$$

Vršna snaga je umnožak instalirane snage P_i , faktora opterećenja f_0 i faktora istodobnosti f_i.

Faktor snage postrojenja kojeg kompenziramo ($\cos\varphi_1$) ovisi o vrsti i režimu rada trošila i može se procijeniti iz podataka u sljedeće tri tablice [4].

Tablica 4.1. Orijentacijske vrijednosti za srednji cosφ ovisno o postrojenju.

Vrsta uređaja	Srednji cosφ
Postrojenja za sušenje drva	0,80 do 0,90
Rashladni uređaji	0,60 do 0,70
Strojevi za zavarivanje	0,40 do 0,65
Mali do srednji alatni strojevi	0,40 do 0,80
Veliki alatni strojevi	0,65 do 0,70
Dizalična postrojenja	0,50 do 0,60
Ventilatori	0,70 do 0,85
Crpke za vodu	0,70 do 0,80

Tablica 4.2. Orijentacijske vrijednost za srednji cosφ ovisno o potrošaču.

Vrsta potrošačkog postrojenja	Srednji cosφ
Pekarska industrija	0,60 do 0,70
Industrija mesa	0,60 do 0,70
Tvornice namještaja	0,60 do 0,70
Pilane	0,55 do 0,65
Mljekare	0,60 do 0,80
Mehanički pogoni	0,50 do 0,60
Servisi za automobile	0,70 do 0,80

Tablica 4.3. Orijentacijske vrijednosti za srednji cosφ ovisno o opterećenju.

Dio opterećenja	100%	75%	50%	25%
Mali motori	0,84	0,91	0,70	0,54
Veliki motori	0,90	0,88	0,84	0,70

Tablica 4.4. Prikazati ćemo dva primjera izračuna potrebne snage kompenzacije.

Primjer 1:	P=460 kW $\cos\varphi_1=0,72 \Rightarrow \tan\varphi_1=0,964$ $\cos\varphi_2=0,99 \Rightarrow \tan\varphi_2=0,142$ $Q=P\times(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2) = 460\times(0,964 - 0,142) = 378$ kVAr Trebamo odabrati prvi veći tipski uređaj tj. 400 kVAr
Primjer 2:	P=720 kW $\cos\varphi_1=0,80 \Rightarrow \tan\varphi_1=0,75$ $\cos\varphi_2=1,00 \Rightarrow \tan\varphi_2=0,00$ $Q=P\times(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2) = 720\times(0,75 - 0,00) = 540$ kVAr Trebamo odabrati prvi veći tipski uređaj tj. 600 kVAr

4.2. Određivanje kompenzacijske snage po računu za struju

Na mjesečnom računu za potrošenu električnu energiju možemo pročitati:

- Radnu energiju (kWh)
- Jalovu energiju (kVArh)
- Prekomjerno preuzetu jalovu energiju (KVArh)
- Snagu (kW)
- Faktor snage cosφ (na računima nekih distributivnih područja

Tablica 4.5. Pokazati ćemo dva primjera izračuna potrebne snage kompenzacije po računu za struju.

Primjer 1 (tiskara)	Pi=376 kW (radna instalirana energija) P=102,860 KWh (radna utrošena energija) Q=115,840 kVArh (jalova energija) Želimo $\cos\varphi_2=0,99 \Rightarrow \tan\varphi_2= 0,142$ $\tan\varphi_1 = Q/P$ $\tan\varphi_1 = 115,840/102,860= 1,126 \Rightarrow \cos\varphi_1= 0,664$ $Q=P\times(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2) = 376\times(1,126 – 0,142) = 370$ kVAr Trebamo odabrati prvi veći tipski uređaj tj. 400 kVAr
Primjer 2: (hotel)	Pi=304 kW (radna instalirana energija) P=101,392 KWh (radna utrošena energija) Q=80,432 kVArh (jalova energija) Želimo $\cos\varphi_2=0,99 \Rightarrow \tan\varphi_2= 0,142$ $\tan\varphi_1 = Q/P$ $\tan\varphi_1 = 80,432/101,392= 0,793 \Rightarrow \cos\varphi_1= 0,783$ $Q=P\times(\tan\varphi_1-\tan\varphi_2) = 376\times(1,126 – 0,142) = 198$ kVAr Trebamo odabrati prvi veći tipski uređaj tj. 200 kVAr

Određivanje snage kompenzacije pogotovo u velikim industrijama i pogonima gdje je potrošnja energije varijabilna zbog vremenskog korištenja potrošača (brzog ili sporog ritma) i ovise o sezonama posla (npr. uljare, sušare, prehrambena industrija) je kompleksan posao. Tu nam uvelike pomaže automatika koja sama po potrebi postrojenja uključuje ili isključuje potreban broj kondenzatorskih baterija kako bi kompenzirana snaga bila uvijek u optimalnim granicama.

5. PRORAČUN KOMPENZACIJE NA NISKONAPONSKOM SKLOPNOM BLOKU 2×1000 A

Na spomenutom niskonaponskom bloku mjerenja su obavljena na dva mjesta.

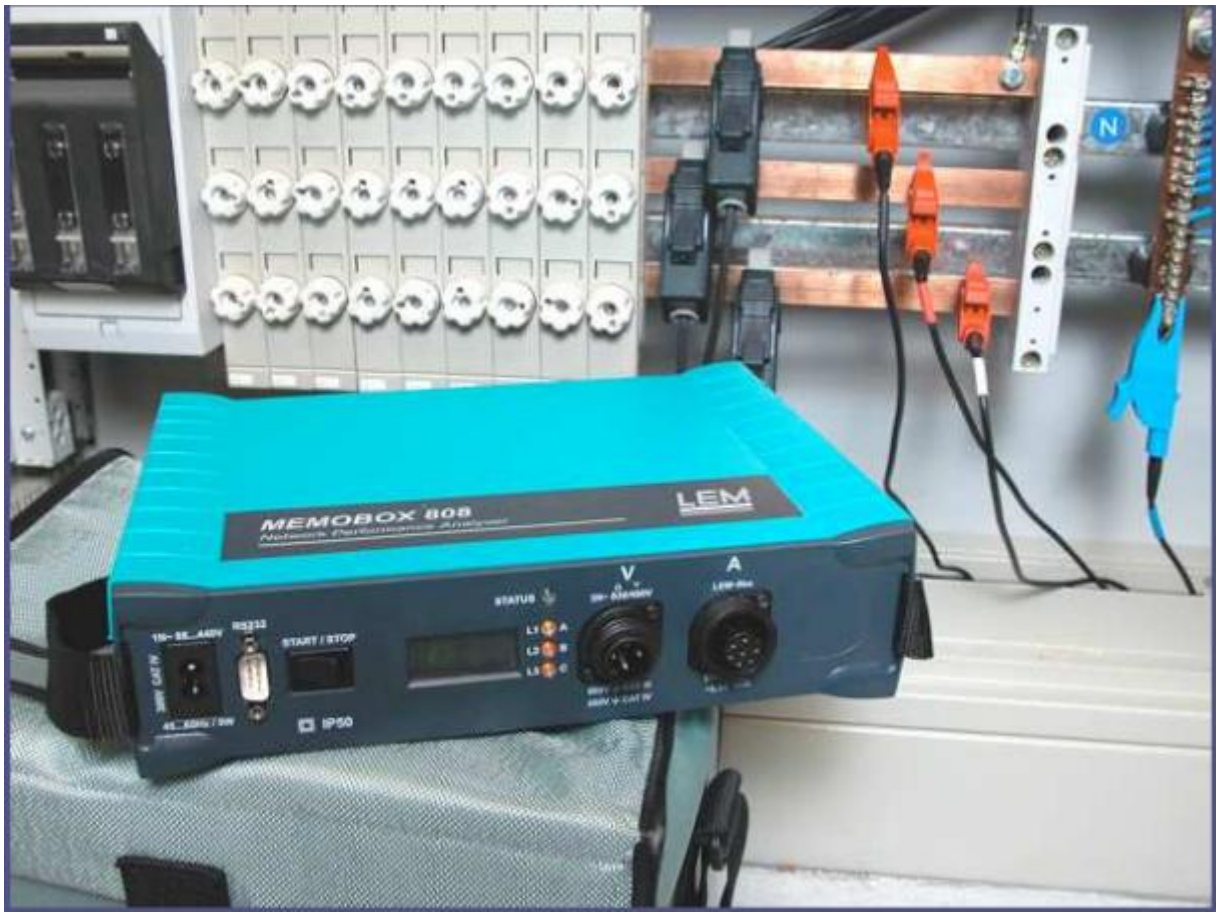
Mjerni uređaj na transformatorskom polju +N1 bio je Fluke 1735, nakon obavljenih mjerenja uređaj se spaja sa računalom kako bi preuzeli mjerene podatke. Mjerenja potom otvaramo u programskom paketu Power Log.

Mjerni uređaj na polju kompenzacije bio je Lem Memobox 808, nakon mjerenja obavljenih mjerenja uređaj se spaja s računalom kako bi preuzeli mjerene podatke. Mjerenja potom otvaramo u programskom paketu PQ Log

Mjerenje je obavljeno u periodu od 19.05.2016. u 10:00 sati do 26.05.2016. u 10:00 sati.



Slika 5.1. Uređaj Fluke 1735 [5]



Slika 5.2. Uređaj Lem Memobox 808 [6]

Tablica 5.1. Prikaz mjerenja obavljenom na transformatoru sa vrijednosti aritmetičke sredine svih mjerenja.

	Faza L1	Faza L2	Faza L3
I [A]	141,851	134,613	143,011
U [V]	240,180	238,891	239,860
S [kVA]	68,140	64,316	68,605
φ	0,973	0,981	0,974
P [kW]	66,289	63,106	66,838
Q [kVAr]	15,031	11,742	14,833

Formule:

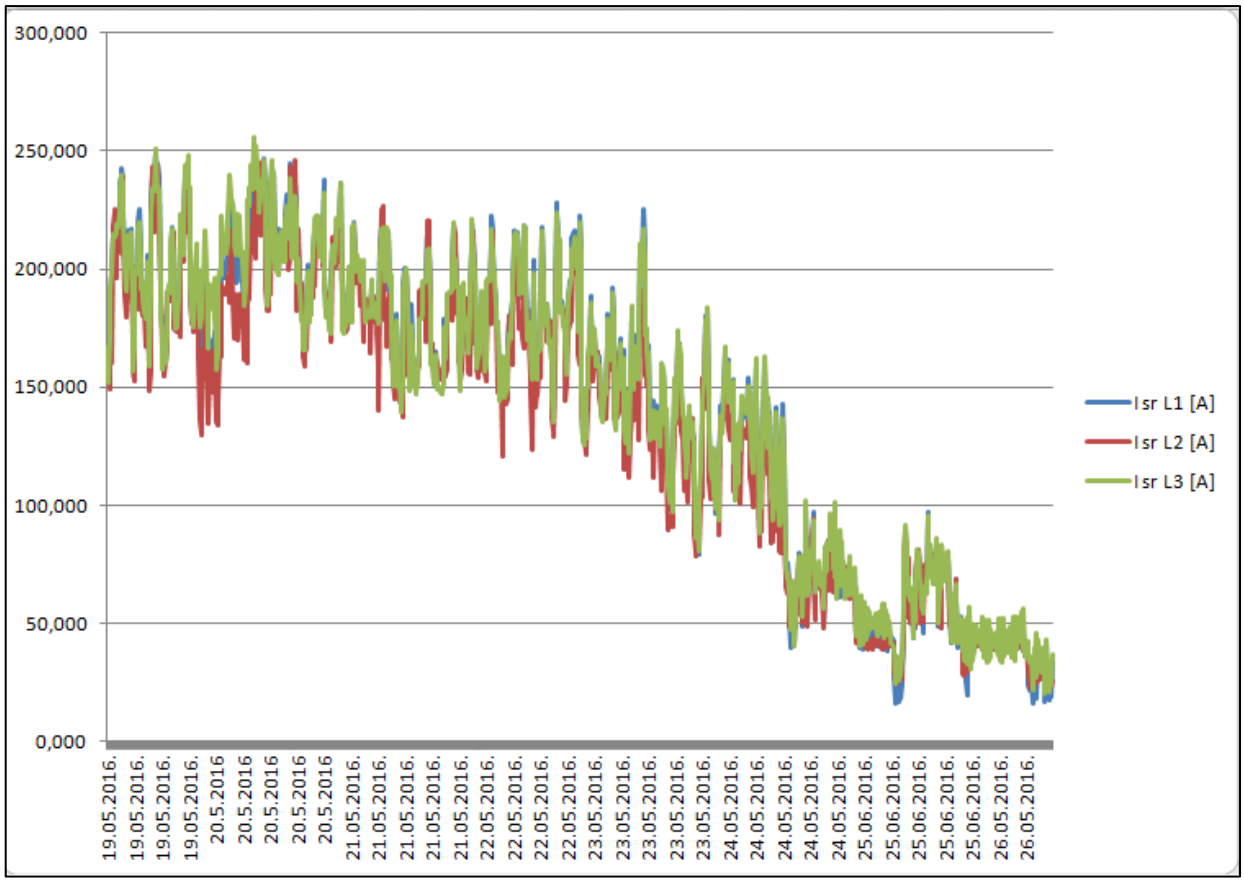
$$S=U\times I \quad (5\text{-}1)$$

$$P=S\times\cos\varphi \quad (5\text{-}2)$$

$$Q=S\times\sin\varphi \quad (5\text{-}3)$$

Gdje je:

- U – napon
- I – struja
- S – prividna snaga
- P –radna (djelatna) snaga
- Q – jalova(reaktivna) snaga
- $\cos\varphi$ – kosinus kuta φ
- $\sin\varphi$ – sinus kuta φ



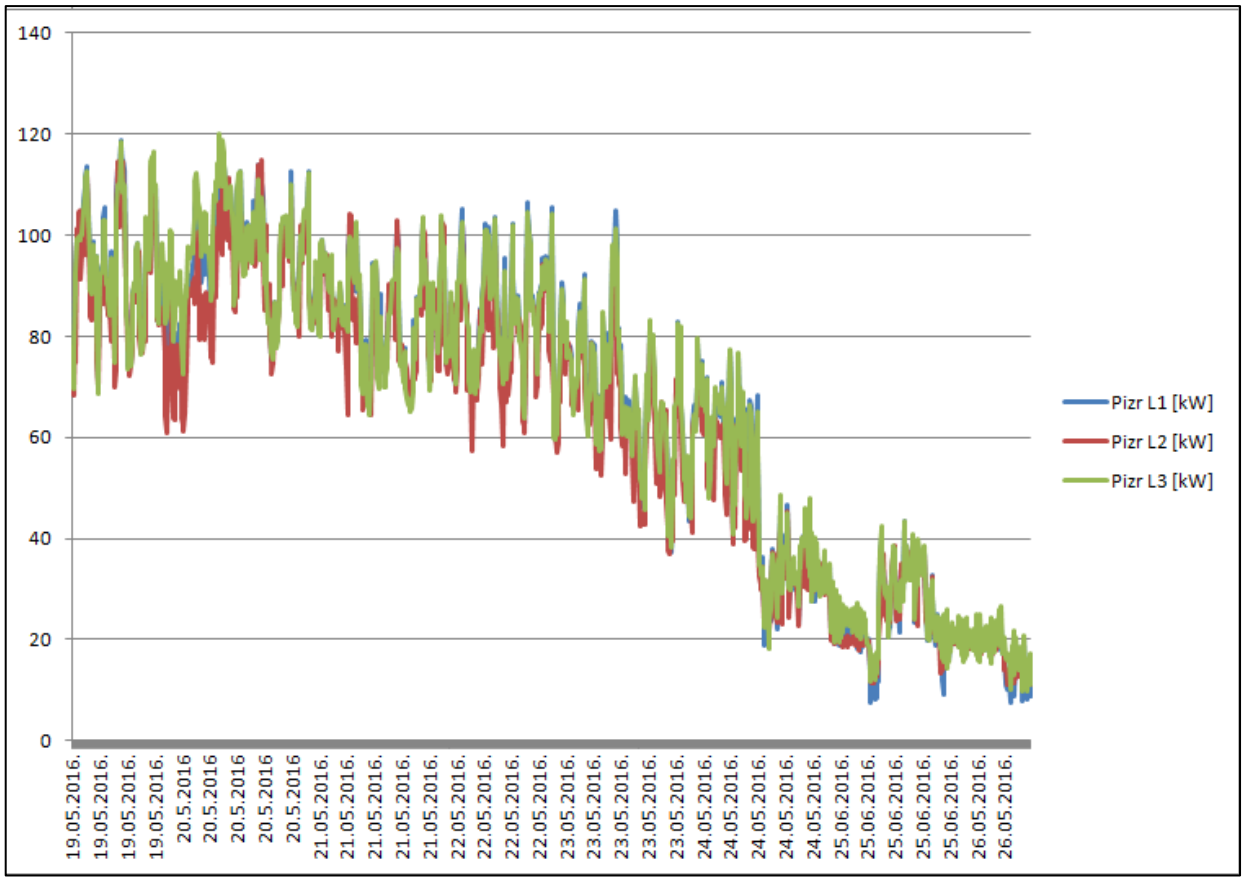
Slika 5.3. Graf mjerene struje na transformatoru u trajanju od 19.05.2016. do 26.05.2016.

Na slici je prikazana mjerena struja na transformatoru u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna struja iznosila je 250 A, minimalna vrijednost struje iznosila je 16 A, vrijednosti struje najčešće su bile u intervalu od 100 A do 200 A, dok je srednja vrijednost struje iznosila je 140 A. Moramo napomenuti da je mjerena struja samo na jednom transformatoru zbog nedostatka opreme, dok su u samoj trafostanici postavljena dva transformatora istih nazivnih vrijednosti i spojeni u paralelni rad.



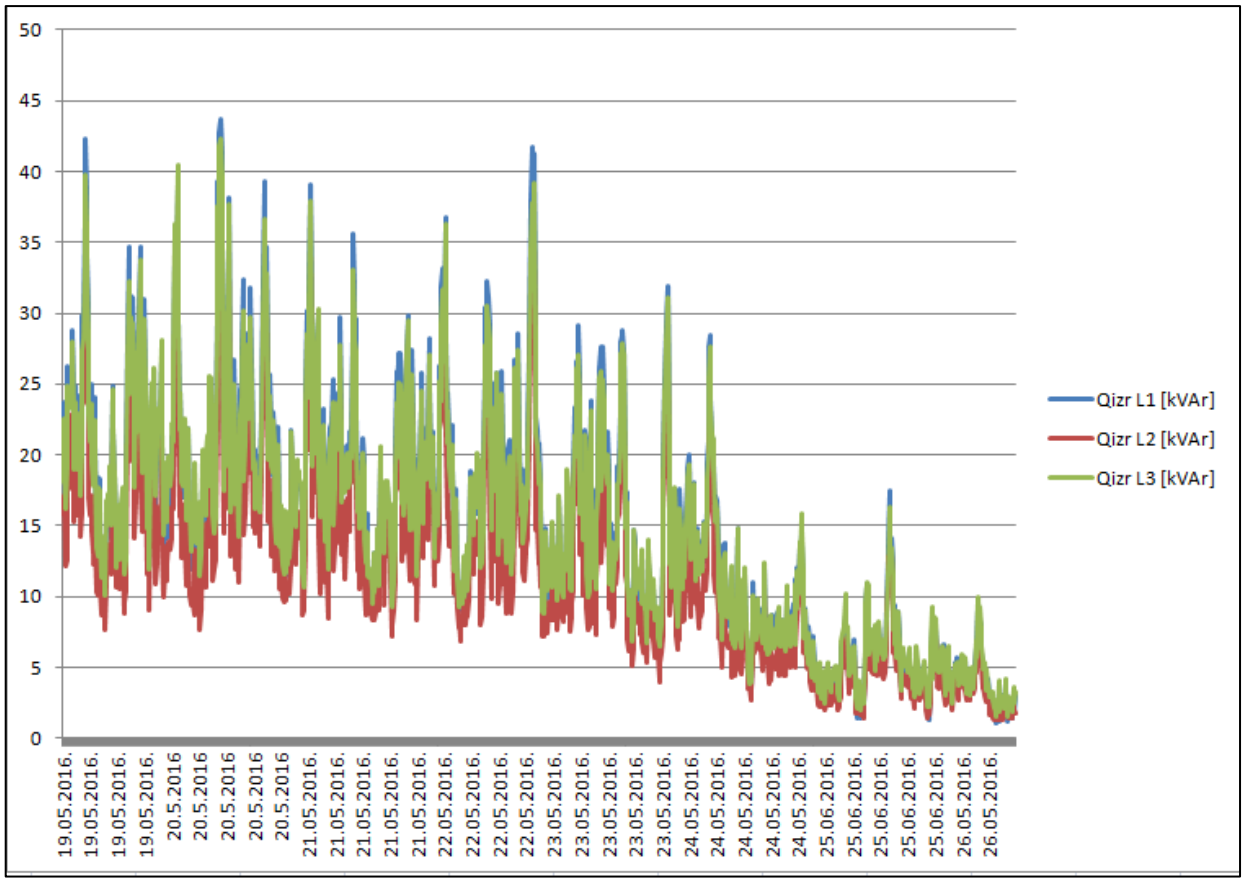
Slika 5.4. Graf mjerene vrijednosti prividne snage na transformatoru

Na slici je prikazana mjerena prividna snaga na transformatoru u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna prividna snaga iznosila je 122 kVA, minimalna vrijednost prividne snage je 73,6 kVA, vrijednosti prividne snage najčešće su bile u intervalu od 40 kVA do 100 kVA, dok je srednja vrijednost prividne snage iznosila je 66,89 kVA.



Slika 5.5. Graf mjerene vrijednosti radne (djelatne) snage na transformatoru

Na slici je prikazana mjerena radna snaga na transformatoru u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna radna snaga iznosila je 120 kW, minimalna vrijednost radne snage je 8 kW, vrijednosti radne snage najčešće su bile u intervalu od 40 kW do 100 kW, dok je srednja vrijednost radne snage iznosila je 65,27 kW.



Slika 5.6. Graf mjerene vrijednosti jalove snage na transformatoru

Na slici je prikazana mjerena jalova snaga u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna jalova snaga iznosila je 40 kVAr, minimalna vrijednost radne snage je 2 kVAr, vrijednosti radne snage najčešće su bile u intervalu od 10 kVAr do 20 kVAr, dok je srednja vrijednost radne snage iznosila je 13,84 kVAr.

Tablica 5.2. Prikaz mjerenja obavljenom na kompenzacijskom polju niskonaponskog bloka sa vrijednosti aritmetičke sredine svih mjerenja.

	Faza L1	Faza L2	Faza L3
I [A]	398,203	373,343	392,508
U [V]	241,083	240,117	240,411
S [kVA]	96,000	89,646	94,364
φ	1,607	1,578	1,611
P [kW]	3,455	0,653	3,810
Q [kVAr]	95,938	89,644	94,287

Formule:

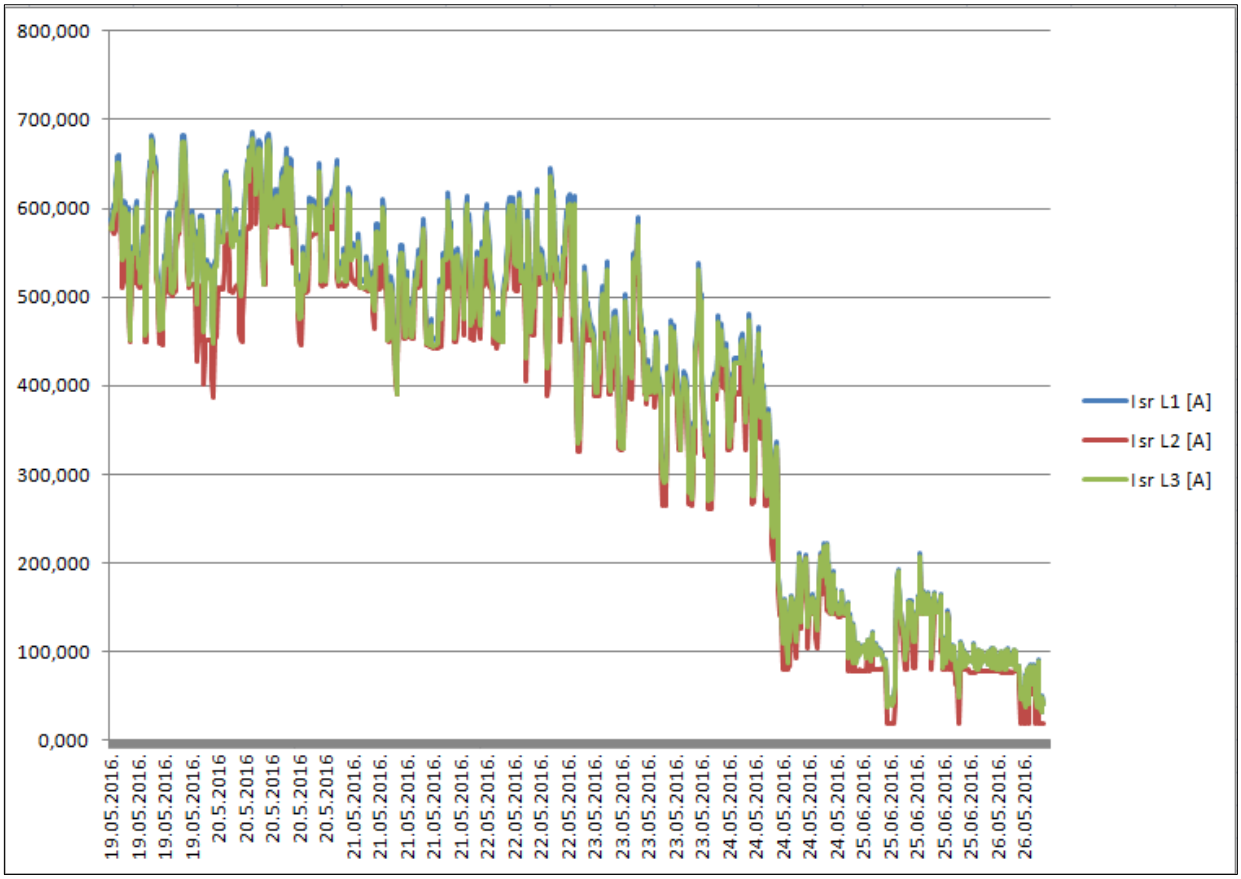
$$S=U\times I \tag{5-4}$$

$$P=S\times\cos\varphi \tag{5-5}$$

$$Q=S\times\sin\varphi \tag{5-6}$$

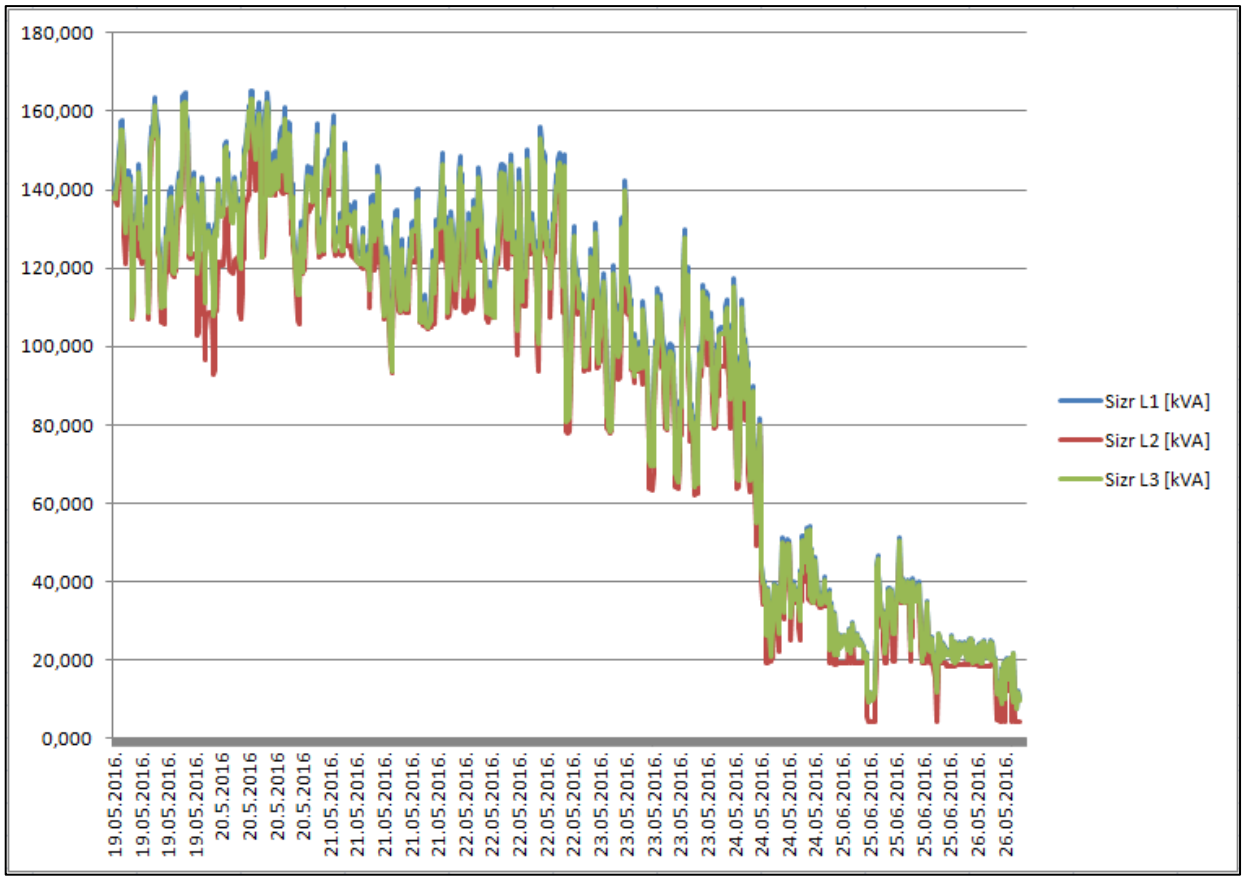
Gdje je:

- U – napon
- I – struja
- S – prividna snaga
- P –radna (djelatna) snaga
- Q – jalova(reaktivna) snaga
- $\cos\varphi$ – kosinus kuta φ
- $\sin\varphi$ – sinus kuta φ



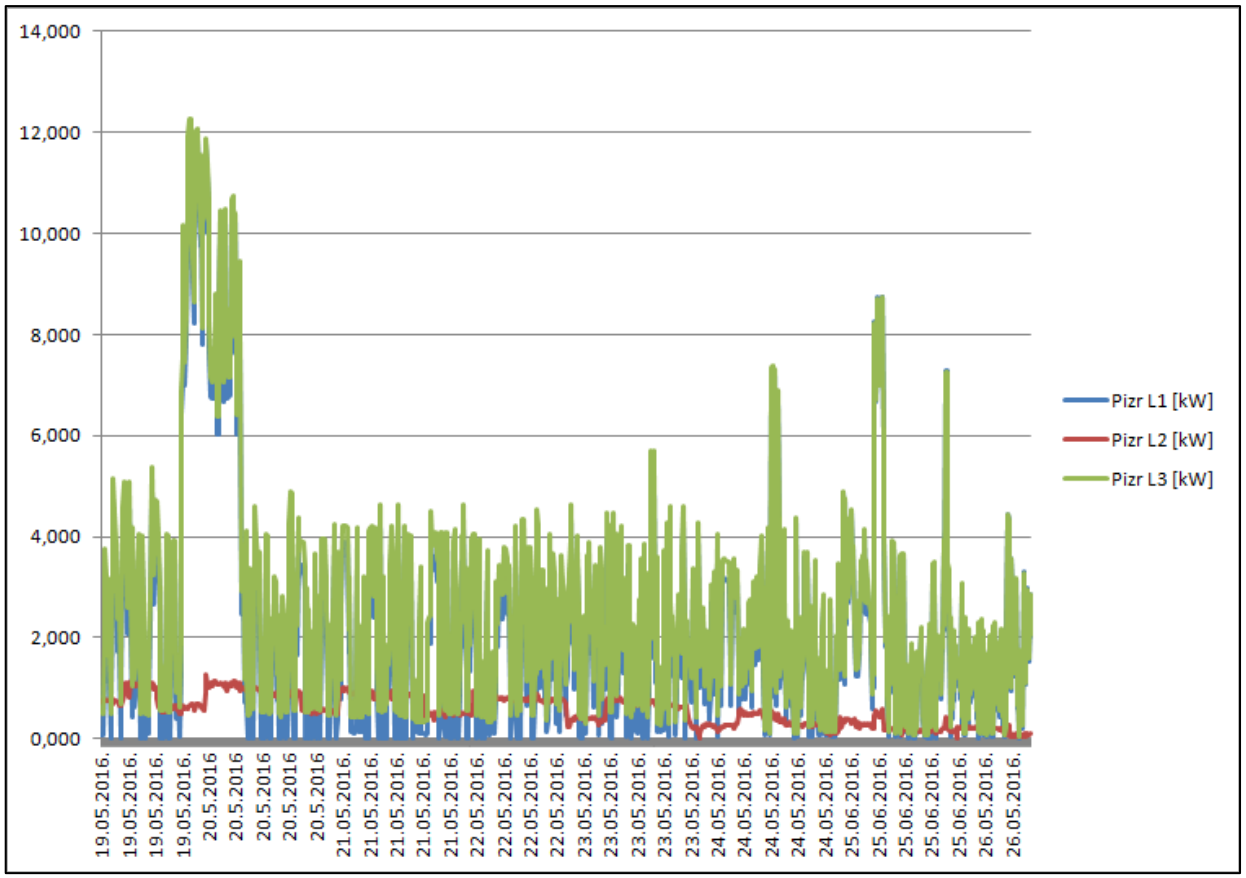
Slika 5.7. Graf mjerene struje na polju kompenzacije

Na slici je prikazana mjerena struja na kompenzacijskom polju u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna struja iznosila je 686,25 A, minimalna vrijednost struje iznosila je 15,5 A, vrijednosti struje najčešće su bile u intervalu od 400 A do 600 A, dok je srednja vrijednost struje iznosila je 388 A.



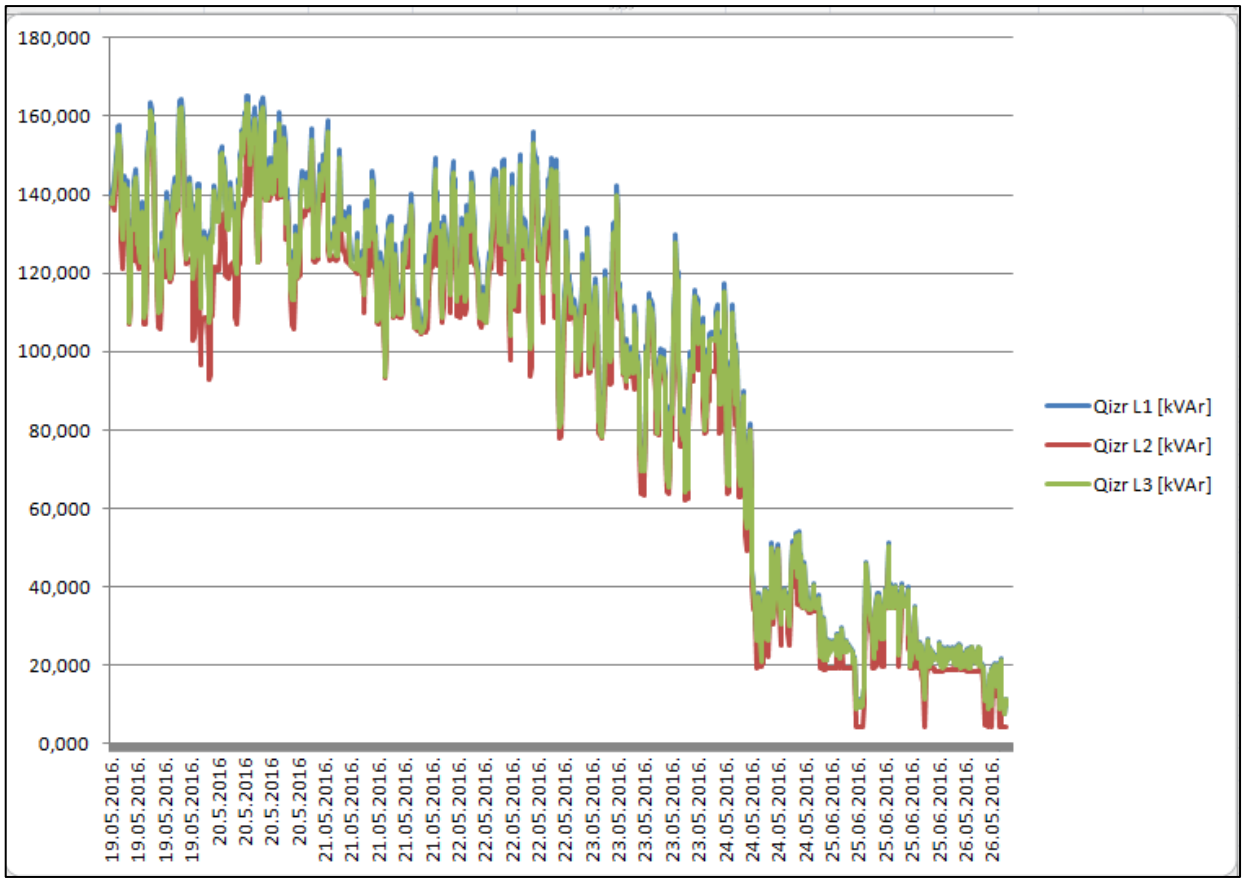
Slika 5.8. Graf mjerene vrijednosti prividne snage na polju kompenzacije

Na slici je prikazana mjerena prividna snaga na kompenzacijskom polju u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna prividna snaga iznosila je 164 kVA, minimalna vrijednost prividne snage je 4,46 kVA, vrijednosti prividne snage najčešće su bile u intervalu od 60 kVA do 140 kVA, dok je srednja vrijednost prividne snage iznosila je 93,132 kVA.



Slika 5.9. Graf mjerene vrijednosti radne (djelatne) snage na polju kompenzacije

Na slici je prikazana mjerena radna snaga na kompenzacijskom u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna radna snaga iznosila je 12,1 kW, minimalna vrijednost radne snage je 0,4 kW, vrijednosti radne snage najčešće su bile u intervalu od 0,4 kW do 4 kW, dok je srednja vrijednost radne snage iznosila je 1,8 kW.



Slika 5.10. Graf mjerene vrijednosti jalove snage polju kompenzacije

Na slici je prikazana mjerena jalova snaga na kompenzacijskom polju u periodu od 7 dana, u promatranom periodu maksimalna jalova snaga iznosila je 164,5 kVAr, minimalna vrijednost radne snage je 4,5 kVAr, vrijednosti radne snage najčešće su bile u intervalu od 80 kVAr do 160 kVAr, dok je srednja vrijednost radne snage iznosila je 93,11 kVAr.

Komentar:

Prilikom mjerenja obavljenima u periodu od 19.05.2016. u 10:00 sati do 26.05.2016. u 10:00 sati pogon je bio u pripremi za nadolazeću sezonu obrade sirovine te na njemu nije bilo uključenih velikih potrošača jalove energije. Pogon se sastoji od više trafostanica koje su u to vrijeme bile remontu te je na trafostanicu sa kompenzacijom na kojom je obavljeno mjerenje bilo spojeno nekoliko upravnih zgrada i mali dio potrošnje pogona. Nakon remonta ostalih trafostanica one će služiti za napajanje upravnih zgrada i ostalih potrošača dok će trafostanica na kojoj smo obavljali mjerenja biti zadužena samo za pogon induktivnih trošila velikih snaga. Tek kroz sezonu rada pogona i odvojene radove trafostanica mogli bi uvidjeti stvarnu korist i funkciju ugrađenog kompenzacijskog uređaja.

6. ZAKLJUČAK

U ovome završnom radu obrađivali smo temu niskonaponskog sklopnog bloka 2×1000 A s pripadajućom kompenzacijom. Upoznali smo se sa obilježjima niskonaponskoga sklopnog bloka. Prikazani su nam osnovni dijelovi od čega se on sastoji i prikazane su sheme niskonaponskog sklopnog bloka sa vanjske strane i unutarnje strane sa postavljenim elementima. Upoznati smo sa terminima poput radne (djelatne), prividne i jalove snage i prikazan nam je njihov međusobni odnos, ta saznanja smo prenijeli na postupak kompenzacije i objasnili njezinu važnost i prednosti. Kompenzacija se prvobitno koristi zbog velikih ekonomskih ušteda pojedinih pogona, industrija i potrošača električne energije, ali i zbog ekonomskih ušteda cjelokupnog elektroenergetskog sustava. Pokazali smo nekoliko primjera izračuna potrebne snage kompenzacije i dali okvirne podatke faktora snage cosφ za nekoliko vrsta potrošača. Prikazali smo rezultate obavljenih mjerenja za struju, prividnu snagu, radnu snagu i jalovu snagu na transformatoru i polju kompenzacije niskonaponskog sklopnog bloka kroz period od 7 dana. Rezultati mjerenja nam mogu pomoći u spoznavanju odnosa snaga prije i nakon kompenzacije. Moramo znati da mjerenja uvelike ovise o vrsti pogona ili industrije koja troši električnu energiju.

LITERATURA

[1] Uređaji za kompenzaciju jalove snage (12.06.2016.)
https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Uredjaji_za_kompenzaciju_jalove_snage.pdf
[2] Razlozi kompenzacije jalove enrgije (12.06.2016.)
http://nabla-plus.hr/kompenzacija-jalove-energije/
[3] Naplata jalove energije (14.06.2016.)
http://www.elmah.hr/aktualno_jalova_energija.php
[4] Shema induktivnog potrošača (17.06.2016.)
http://erg.hr/slike/03_Odredivanje_potrebne_snage_uredaja_za_kompenzaciju.pdf
[5] Uređaj Fluke 1735 (20.06.2016.)
]http://en-us.fluke.com/products/all-products/fluke-1735-power-quality.html
[6] Uređaj Lem Memobox 808 (20.06.2016.)
https://www.google.hr/search?q=lem+memobox+808&espv=2&biw=1920&bih=974&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwja363D_7bPAhUKIcAKHUAgBjgQ_AUIBigB#imgrc=rX8TCiycKwq44M%3A
[7] Naknada za jalovu energiju i uvjeti naplate jalove energije (18.09.2016.)
http://www.hep.hr/ods/kupci/savjeti-kupcima/naknada-za-prekomjernu-jalovu-energiju/579

SAŽETAK:

NISKONAPONSKI SKLOPNI BLOK 2×1000 A S PRIPADAJUĆOM KOMPENZACIJOM

U ovom završnom radu obradili smo temu niskonaponski sklopni blok 2×1000 A s pripadajućom kompenzacijom. Spoznali smo osnove o niskonaponskom sklopnom bloku, kompenzaciji jalove energije i dimenzioniranju sklopova za kompenzaciju jalove energije.

Ključne riječi: niskonaponski, sklopni, blok, kompenzacija, jalova, energija, faktor, snaga

ABSTRACT:

LOW-VOLTAGE SWITCHGEAR 2X1000A WITH CORRESPONDING COMPENSATION

In this final work we dealt with the subject of low-voltage switchgear 2 x 1000 A with corresponding compensation . We learned the basics of low-voltage switchgear , reactive power compensation and dimensioning of circuits for compensation of reactive power .

Keywords: low voltage, switching, block, compensation, reactive, energy, factor, power

ŽIVOTOPIS:

Antonio Lagator rođen u Osijeku 24.08.1993. godine sa prebivalištem u Viškovcima. Pohađao je osnovnu školu Luka Botić u Viškovcima nakon koje upisuje srednju Elektrotehničku i prometnu školu Osijek smjer tehničar za računalstvo. Nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja upisuje stručni studij elektrotehnike smjer elektroenergetika na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.

PRILOZI:

P.1.1. Kao prilog uz završni rad biti će umetnut i CD sa dokumentom Proračuni završni rad u kojima se nalaze svi dijelovi proračuna i mjerenja.