

**KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE I COST BENEFIT ANALIZA NJENOG
ULAGANJA****COMPENSATION OF REACTIVE POWER AND COST BENEFIT ANALYSIS IN OF ITS
INVESTMENT**Marko Nedić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu je razmatran pojam kompenzacije reaktivne snage i benefita ulaganja u primenu sistema za kompenzaciju. Pre svega, data je teoretska osnova i pojašnjenje reaktivne snage. Definisana je kompenzacija reaktivne snage, način određivanja potrebne snage kompenzacije, kao i način kompenzacije reaktivne snage kroz sve tipove. Dati su uređaji koji učestvuju u kompenzaciji, što kao analizatori, što kao sami kompenzatori. Teoretski osnov i pojam Cost – benefit analize (CBA) su dati uz detaljne načine izrade kvalitetne CBA. Opisan je instrument Metrel PowerQ4 koji je korišćen za praktični deo u radu. Jasni i detaljni koraci za pripremu i način snimanja i korišćenja instrumenta u eksploataciji, koji su poslužili i kao osnova prilikom korišćenja za samo merenje na predmetnom sistemu. Rezultati merenja na predmetnom sistemu dati su uz CBA u konkretnom slučaju.

Cljučne reči: kompenzacija reaktivne snage, Cost-benefit analiza, mrežni analizator.

Abstract – In this paper the term of reactive power compensation and benefits of investment in the application of the system of compensation are considered. First of all, the theoretical basis and a clarification about the power, active and reactive is given. Definition and description of reactive power compensation, a way of determining the power necessary compensations, as well as a way to compensate reactive power through all types is given. Devices that participate in the process, as analyzers and as expansion joints are described. The theoretical foundation of the concept of Cost-benefit analysis is given. An instrument named Metrel PowerQ4 is used for the practical part of the paper. Clear and detailed steps for the preparation and shooting and using the instrument in exploitation are presented as well.

Keywords: Reactive power compensation, Cost-benefit analysis, network analyzer.

1. UVOD

Napon je lokalna karakteristika mreže i može se razlikovati u sistemu od tačke do tačke. Neki od razloga tih razlika mogu biti postojanje više naponskih nivoa unutar sistema, kao i pojava pada napona prouzrokovana tokovima reaktivne snage kroz provodnik.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Goran Švenda, red.prof.

U elektroenergetskom sistemu (EES) dopuštena su minimalna odstupanja, pa se iz tog razloga primenjuju razne metode regulacije. Kako je veza između napona i reaktivne snage očita, oni su obuhvaćeni zajedničkim sistemom regulacije [1].

Od današnjih EES se zahteva racionalizacija proizvodnje i potrošnje, odnosno sve efikasnije funkcionisanje svih njegovih delova. Jedan od efikasnih načina za postizanje tog cilja je i kompenzacija reaktivne snage, odnosno eliminacija nepotrebnog prenosa reaktivne snage kroz sistem [1]. Osnovni zadatak regulacije reaktivnih snaga u normalnom pogonu je održavanje napona u svim čvorovima EES kroz održavanje ravnoteže između proizvodnje i potrošnje reaktivne snage i gubitaka.

Sa stanovišta konkretnog potrošača, ekonomska opravdanost kompenzacije, se ogleda u uštedama koje se postižu kroz neplaćanje reaktivne snage, smanjenje gubitaka energije i poboljšanje naponskih prilika i iste uveliko premašuju troškove investicija u uređaje za kompenzaciju [1]. U tu svrhu elektroprivredne kompanije nastoje da tarifnim sistemima stimulišu potrošače na primenu kompenzacije. U tržišnom okruženju postojeći kupci, koji nepovoljno deluju na EES i koji štete kvalitetu električne energije, moraće dodatno da plaćaju, dok novi kupci moraju da zadovolje odgovarajuće standarde pre samog priključenja na sistem [1].

2. KOMPENZACIJA REAKTIVNE SNAGE

Kompenzacijom se vrši rasterećenje postojećih izvora energije i prenosnih puteva, pa postojeća oprema za proizvodnju i prenos energije može da proizvede i prenese energiju većom aktivnom snagom.

2.1 Kompenzacija reaktivne snage

Za kompenzaciju reaktivne energije, odnosno reaktivne snage u elektroenergetskim postrojenjima se koristi sledeća oprema [1]:

- Obrtni kompenzatori (sinhroni kompenzatori i sinhroni motori);
- Kondenzatori (povezani serijski ili otočno, u pojedinačnoj, grupnoj, centralnoj ili mešovitoj vezi, kao i dinamička kompenzacija u direktnoj ili indirektnoj vezi);
- Pasivni filteri (usklađeni i neusklađeni);
- Aktivni filteri (serijski i otočni).

2.2 Određivanje potrebne snage za kompenzaciju

Potrebnu snagu kompenzacije moguće je odrediti pomoću faznog dijagrama, grafički. Ukoliko koristimo mrežni analizator, onda je moguće odrediti potrebnu snagu računski ili na osnovu pokazivanja postojećih brojeva aktivne i reaktivne energije u određenom vremenskom periodu, ukoliko mrežnim analizator nije na raspolaganju. Relativno lako, potrebna snaga kondenzatora može da se odredi i na osnovu mesečnih računa za utrošenu električnu energiju. Potrebna snaga se može dati i procenom, ukoliko se radi o novoprojektovanom sistemu.

2.3 Sinhroni kompenzatori i sinhroni motori

Kada su industrijski potrošači velikih snaga u pitanju, ekonomski je opravdano da se investira u postrojenje za kompenzaciju čiji je rad baziran na primeni obrtnih mašina. U tom slučaju, potrebno je razlikovati slučaj kada je predviđeno da sinhrona mašina isključivo radi kao izvor reaktivne snage (tada se ona naziva sinhroni motor u praznom hodu) i slučaj kada mašina radi kao normalno opterećen (sinhroni) motor [1].

2.4 Kompenzacija reaktivne snage korišćenjem kondenzatora

Kompenzacija reaktivne snage u EES može se izvesti korišćenjem serijskih i otočnih kondenzatora. Na sistemu koji je predmet ovog rada, primenjena je metoda kompenzacije otočnim kondenzatorskim baterijama. Postoje četiri moguća načina za realizaciju otočne kompenzacije [1]: pojedinačno, grupno, centralno, ili u mešovitoj vezi.

2.5 Savremeni regulatori reaktivne snage

Danas se regulacija reaktivne snage postrojenja za kompenzaciju vrši pomoću savremenih digitalnih regulatora. Oni imaju ugrađenu tehniku za odlučivanje u vezi sa uključivanjem i isključivanjem kondenzatora, tako da su u najkraćem vremenskom roku zadovoljene potrebe za reaktivnom snagom, uz minimiziranje broja uključenja/isključenja kompenzacionih sekvenci i vođenja računa o njihovom ravnomernom korišćenju. Regulatori reaktivne snage definišu broj stepeni regulacije, poredak snaga kompenzacije i broj koraka regulacije.

2.6 Uključivanje i isključivanje kondenzatora

Uključivanje kondenzatora na mrežu je sve do 80-tih godina vršeno pomoću vazдушnih prigušnica i strujno predimenzionisanih elektromehaničkih kontaktora, dok se danas isključivo koriste specijalni kontaktori za uključivanje kondenzatorskih baterija, takozvani kontaktori sa ranim dejstvom i brzim pražnjenjem [1].

2.7 Mrežni analizatori

Pojam mrežni analizator se odnosi na posebne merne instrumente koji su predviđeni za merenje različitih parametara električnih mreža. U suštini, to su digitalni mikroprocesorski instrumenti, koji na osnovu odbiraka napona i struja izračunavaju efektivne vrednosti napona i struja, aktivnu i reaktivnu snagu, ali i višeharmonijske komponente ovih veličina. Instrument je prenosnog tipa i meri, prikazuje i memoriše glavne parametre jednofazne ili trofazne električne mreže.

3. CBA

Da bi se proces investiranja i ocene opravdanosti realizacije jednog investicionog projekta mogli sagledati, potrebno je utvrditi i analizirati ukupne efekte koje realizacija određene investicije donosi. U ovom delu su prikazani osnovni elementi CBA za ocenu investicionih projekata i opravdanosti investiranja u cilju unapređenja predmetnog sistema [2].

3.1 Uvod u CBA

CBA je metoda ekonomske analize kojom se upoređuju i vrednuju sve prednosti i svi nedostaci nekog privrednog poduhvata ili projekta analizom troškova (cost) i koristi (benefit). Izuzetna kompleksnost problematike CBA, kao i njene adekvatne primene u praksi, zahteva poznavanje nekoliko značajnih problema koje će u nastavku biti razmotrene, a to su [3]:

- Utvrđivanje troškova i koristi investicionog projekta;
- Vrednovanje troškova i koristi investicionog projekta;
- Osnovne faze izvođenja CBA;
- Kriterijumi koji se koriste u CBA.

3.2 Utvrđivanje troškova i koristi

Primenu CBA posebno preporučuje Svetska banka. S tim u vezi, ona sugeriše da se pri utvrđivanju troškova i koristi, za celo društvo (ekonomska analiza), počne od efekata koje konkretan projekat daje investitoru (finansijska analiza) i da se uključivanjem ili isključivanjem određenih grupa troškova i koristi dođe do ukupnih rezultata sa aspekta društva u celini. U tom smislu, sugeriše se pristup prema sledećim elementima [2]: transferna plaćanja, nepredviđeni troškovi, prethodni troškovi, eksterni efekti, multiplikacioni efekti, međunarodni efekti.

3.3 Vrednovanje troškova i koristi

Nakon utvrđivanja društvenih troškova i koristi koje jedan investicioni projekat donosi, potrebno ih je sve vrednovati i izraziti u novčanom obliku. U tu svrhu primenjuju se metode za prevođenje raznovrsnih efekata u novčane izraze. Postoje dva osnovna metoda u određivanju obračunskih cena, to su [4]:

- Little Mirrleesov metod (LM metod) i
- UNIDO metod.

3.4 Faze procesa CBA

CBA predstavlja veoma složen i najčešće dosta obiman proces, sa mnogo procena, izračunavanja, predviđanja i poređenja. Zbog toga, primena CBA u oceni investicionih projekata, zahteva da se poštuje određena procedura zasnovana na nekoliko osnovnih faza [2]:

- definisanje projekata za analizu,
- definisanje vremenskog perioda na koji se analiza odnosi,
- utvrđivanje svih koristi i troškova za pojedine projekte,
- izračunavanje svih koristi i troškova u novčanom obliku za pojedine projekte,
- određivanje kriterijuma za analizu,
- određivanje diskontne stope koja će se koristiti,

- izračunavanje vrednosti pojedinih kriterijuma za svaki projekat,
- upoređivanje vrednosti kriterijuma za pojedine projekte sa određenom merom,
- određivanje dodatnih kriterijuma analize,
- konačan izbor - donošenje investicionih odluka.

3.5 Kriterijumi CBA

Osnovni princip CBA nalazi da je projekat za realizaciju opravdan jedino ako je ukupna korist koju on donosi, veća od očekivanih troškova. Ovaj princip se koristi i pri definisanju odgovarajućih kriterijuma za ocenu efikasnosti investicionih projekata, naravno uz respektovanje i ostalih elemenata, koje je neophodno, u tim slučajevima, uzeti u obzir.

Kod ocenjivanja investicionih projekata, primenom CBA moguće je koristiti veći broj kriterijuma za ocenu. Ovde će biti prezentovana četiri kriterijuma [4]:

- Kriterijum sadašnje vrednosti neto koristi,
- Kriterijum interne stope rentabilnosti,
- Kriterijum odnosa koristi i troškova,
- Kriterijum roka vraćanja investicije.

4. PRIMER PRAKTIČNE PRIMENE KOMPENZACIJE REAKTIVNE SNAGE

U delu industrijskog pogona jedne od najvećih fabrika za preradu voća i povrća na Balkanu, na račun za električnu energiju, primećena je pojava veće količine reaktivne energije.

Pribavljen je mrežni analizator pomoću kojeg se pristupilo snimanju stanja sistema, praćenju potrošnje aktivne i reaktivne snage, praćenju promena vrednosti faktora snage, napona, struja i harmonika. U toku merenja, minimalna izmerena vrednost faktora snage je bila 0.530 ind.

Usledila je nabavka i ugradnja 12 kondenzatorskih baterija austrijskog proizvođača Schrack nominalne snage 12.5 kVAr, odnosno ukupne snage 150 kVAr. U nastavku je naveden uređaj kojim je izvršena analiza i merenje prilika, analiza ekonomskih prilika, opis opreme koja je ugrađena i krajnji, ekonomski efekat celog procesa.

4.1 Mrežni analizator Metrel PowerQ4 MI 2592

PowerQ4, slika 1, je multifunkcionalni ručni instrument za merenje kvaliteta snage i električne efikasnosti. Tehnički podaci su:

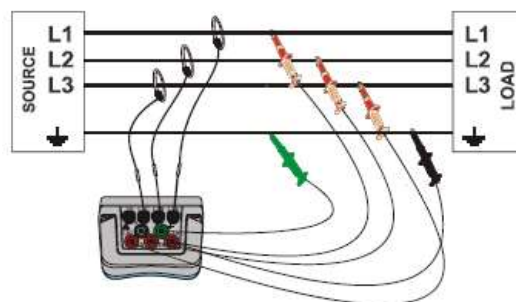
- Broj kanala: 4,
- Dimenzija uređaja, visina: 90 mm, širina 115mm,
- Težina: 650 g.

Koraci za pripremu i način snimanja i korišćenja instrumenta u eksploataciji su: podešavanje instrumenta, podešavanje merenja, provera, merenje on-line, podešavanje snimača i snimanje, zaključak merenja i generisanje izveštaja. Instrument je moguće povezati na monofaznu i trofaznu mrežu.

Predmetni sistem je trofazni sistem sa 3 žice, a na slici 2 je prikazano kako je instrument bio povezan prilikom merenja.



Slika 1 - Instrument PowerQ4 [5]

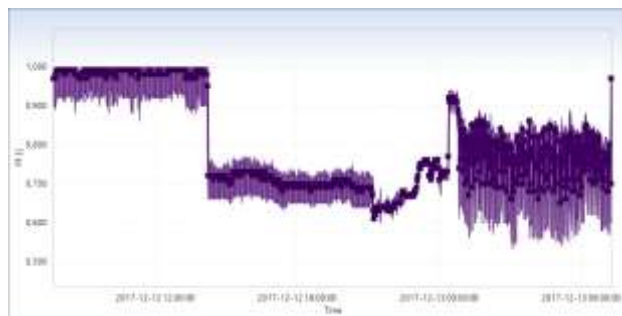


Slika 2 – Povezivanje uređaja na trofazni sistem sa 3 žice

4.2 Merenje u delu proizvodnog pogona

Merenje je vršeno u toku jednog proizvodnog ciklusa. Praćene su vrednosti napona, struje i frekvencije, aktivna i reaktivna snaga, faktor snage i harmonici. Vrednosti su praćene po fazama, ali i međufazno. Merenje je trajalo 23h i 26m, odnosno snimljeno je 708 intervala, sa periodom od 2m, odnosno 120s. Uređaj je podešen na nominalni napon 230V. Merenje možemo podeliti na dva dela. U prvom delu, kompenzacija reaktivne snage je bila aktivna, dok je u drugom delu merenja, kompenzacija bila deaktivirana. Nakon završenog merenja, podaci su preuzeti na računar i očitani uz pomoć softvera PowerView. Vrednosti iz samog softvera za sve parametre moguće je prikazati grafički i tabelarno.

Tokom merenja, vrednosti linijskih napona su bile konstante, tako da nije bilo nepovoljnih naponskih prilika. Isti je slučaj i sa frekvencijom, koja je bila u opsegu od 49.900 Hz do 50.090 Hz. Faktor snage je na samom početku merenja imao vrednost 0.970 ind. U nekoliko momenata, ta vrednost ide i do 1,00 ind., dok je prosečna vrednost 0.990 ind. U drugom delu merenja, vrednost faktora snage značajno pada sa 0.970 ind. na 0.720 ind. Minimalna vrednost faktora snage u toku drugog dela merenja je 0.530 ind. Na slici 3 je dat grafički prikaz vrednosti faktora snage tokom merenja.



Slika 3. Vrednost faktora snage u toku merenja

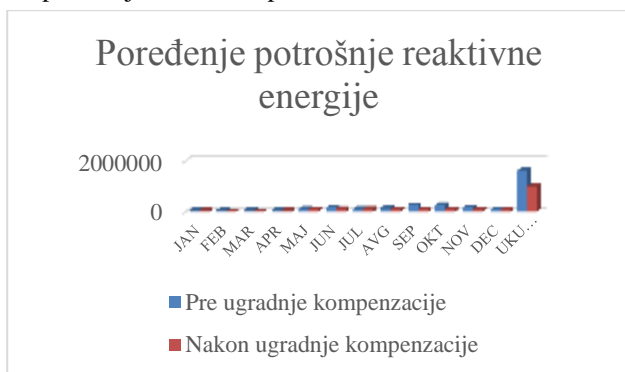
4.3 CBA na konkretnom primeru

Nakon praćenja potrošnje reaktivne energije preko računa za električnu energiju, primećeni su značajni izdaci za istu. Pristupilo se detaljnoj analizi i u toku prvih 6 meseci kalendarske godine praćene su potrošnje i finansijski izdaci. Na računu za električnu energiju za period u kojem se pratilo stanje svih parametara, a posebno stavka potrošene reaktivne snage i faktora snage, dobijeno je da je za taj period potrošeno 399806 kVArh, a faktor snage je u proseku bio 0.987. Odlučeno je da se uđe u investiciju i pokrenut je proces nabavke kondenzatorskih baterija. Nabavljeno je 12 kondenzatorskih baterija, svaka snage 12.5 kVAr. Već u novembru, kada je kompenzacija puštena u rad, primećeno je znatno smanjenje potrošnje reaktivne energije, kao i promena vrednosti faktora snage koji je sa 0.951 ind. smanjen na 0.974 ind.

U ovoj kalendarskoj godini, potrošeno je 1631972 kVArh reaktivne energije. Praćenje je nastavljeno i u toku sledeće kalendarske godine i dobijen je podatak da je u istoj potrošeno 1010308 kVArh reaktivne snage.

Na slici 4 jasno se vidi smanjenje potrošnje reaktivne energije nakon ugradnje kompenzacije. Ukupna potrošena reaktivna energija je sa 1631972 kVArh smanjena na 1010308 kVArh. Ukoliko se uzme da operater naplaćuje 1 kVArh po ceni od 0.428 RSD, dolazimo do podatka da je već u prvoj godini eksploatacije na ime investicije u kompenzaciju reaktivne energije uštedeno 266.072,19 RSD, što je jednako vrednosti celokupne investicije.

Taj podatak je izuzetno uspešan, jer je praksa i nepisano pravilo da su investicije koje se vrte u prvih pet godina eksploatacije izuzetno isplative.



Slika 4 - Poređenje potrošnje reaktivne energije pre i nakon ugradnje kompenzacije reaktivne energije

Bitno je reći da je prosečna vrednost faktora snage u periodu pre ugradnje kompenzacije bila 0.978 ind, dok je u periodu nakon ugradnje, njegova vrednost poboljšana i iznosila je 0.989 ind.

4.4 Opis opreme koja je ugrađena

Primenjena je centralna kompenzacija uz pomoć otopno povezanih kondenzatorskih baterija ukupne snage 150 kVAr. Upravljanje je potpuno automatizovano, regulisano preko reaktivnog regulatora RM9606. Uključivanje i isključivanje kondenzatorskih baterija je obezbeđeno preko kondenzatorskih kontaktora, slika 5.



Slika 5 - Ugrađene kondenzatorske baterije i kondenzatorski kontaktori

5. ZAKLJUČAK

Današnja srednja i velika preduzeća pritisnuta su sve strožijim zahtevima. Sa jedne strane je podizanje kvaliteta proizvodnje, a sa druge minimizacija troškova. Da bi to ostvarili primorani su da kroz „mini“ projekte, u kratkom vremenskom periodu, raspoznaju benefite i isplativost svojih investiranja u cilju da te investicije direktno podstiču napredak preduzeća i podižu kvalitet proizvoda. Investiranjem u opremu koja je opisana, prati se trend i tendencija smanjenja troškova.

To se posebno odnosi na investiciju koja se, kao i ovde opisana, smatra izuzetno isplativom.

6. LITERATURA

- [1] M.B.Kostić: *Teorija i praksa projektovanja električnih instalacija, Drugo, prošireno izdanje*, Akademska misao, Beograd, 2005.
- [2] P.Jovanović: *Upravljanje investicijama*, Fakultet organizacionih nauka, Beograd, 2006.
- [3] B.Mašić: *Strategijski menadžment*, Univerzitet Singidunum, Beograd, 2009.
- [4] M.Ivaniš, S.Slović: *Uloga i značaj cost-benefit analize u investicionom menadžmentu*, Pravno-Ekonomski Pogledi br. 1/2013.
- [5] Metrel, *PowerQ4, MI 2592, Instruction manual, Version 1.2, Code No. 20 751 551*, 2009.

Kratka biografija:



Marko Nedić rođen je u Sremskoj Mitrovici 1991. godine. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva – Elektroenergetski sistemi odbranio je 2014. god. Iste godine upisao se na master studije na istom smeru.