

ANALIZA UTICAJA KVARA KOMPENZACIJE REAKTIVNE SNAGE NA RAD MODERNIH ELEKTRONSKIH DVOSMERNIH BROJILA ELEKTRIČNE ENERGIJE

B. HOLIK, EPS Distribucija, Republika Srbija

S. MARČETA, EPS Distribucija, Republika Srbija

UVOD

Zamenom indukcionih brojila modernim elektronskim brojilima električne energije, koja imaju mogućnost merenja, registrovanja i detekcije čitavog niza parametara mernog mesta, dostupan je sasvim novi skup informacija u stanje mernog mesta i uopšte merenja električne energije.

Prednost pristupa ovim dodatnim informacijama je možda najuočljivija kod mernih mesta sa ugrađenom kompenzacijom reaktivne snage, gde eventualna nepravilnost rada ugrađene kompenzacije, bez detaljne kontrole mernog mesta, može ostati neprimećena izvesno vreme.

ANALIZA PRIMERA IZ PRAKSE

Za ilustraciju ove tvrdnje može poslužiti nedavni primer iz prakse, zatečen na konzumu jednog od ogranaka PD „EPS Distribucija“: nakon ugradnje modernog elektronskog brojila, ustanovljeno je da brojilo detektuje obrnuti tok električne energije po jednoj fazi. Detaljnom proverom ustanovljeno je da nema greške u povezivanju brojila i ostalih mernih uređaja, pa je izvršena detaljna analiza izmerenih podataka, radi utvrđivanja uzroka nepravilnosti na mernom mestu.

Ovaj rad je sačinjen na osnovu rezultata merenja, bez sprovedene matematičke analize, a ima za cilj da pojasni uzrok nastanka uočene nepravilnosti.

Izmerene vrednosti

Radi potpune analize situacije, u saradnji sa kolegama na licu mesta, izvršeno je daljinsko očitavanje trenutnih vrednosti snaga po fazama i to u oba slučaja – kada je isključena kompenzacija i kada je uključena.

	Aktivna snaga [W]	Reaktivna snaga [Var]	Prividna snaga [VA]
L1	28	81	85,70
L2	22	70	73,38
L3	21	74	76,92
Zbirno	71	225	235,94

Tabela 1: Izmerene vrednosti trenutnih snaga na mernom mestu, isključena kompenzacija reaktivne snage

	Aktivna snaga [W]	Reaktivna snaga [Var]	Prividna snaga [VA]
L1	29	78	83,22
L2	-55	-66	85,91
L3	99	-63	117,35
Zbirno	73	-51	89,05

Tabela 2: Izmerene vrednosti trenutnih snaga na mernom mestu, uključena kompenzacija reaktivne snage

Predmetna kompenzacija reaktivne snage je izvedena kao statička, gde se kondenzatorska baterija na naponsku mrežu ručno priključuje putem posebne sklopke, bez mogućnosti automatske regulacije. Sama baterija se sastoji od tri pojedinačna kondenzatora, ali informacija o međusobnim vezama pojedinačnih kondenzatora unutar baterije nije bila dostupna prostim uvidom spolja u naponskom stanju.

Odmah se može primetiti jedna značajna činjenica: suma aktivnih snaga po fazama je u oba slučaja praktično istovetna, što samo potvrđuje sumnje u mogućnost detekcije nepravilnosti u slučaju kada je na ovakvom mernom mestu indukciono brojilo, odnosno još jednom potvrđuje prednost modernog elektronskog brojila.

Detaljna analiza – veza kondenzatora „zvezda“

Razlika u očitavanju trenutnih vrednosti snaga između situacije kada je kompenzacija reaktivne snage isključena i situacije kada je kompenzacija reaktivne snage uključena, jasno upućuje da se kvar, odnosno nepravilnost nalazi u ugrađenom sistemu za kompenzaciju reaktivne snage.

Kao što je već navedeno, sistem za kompenzaciju reaktivne snage se sastoji od tri pojedinačna kondenzatora koji se na mrežu priključuju direktno, preko posebne sklopke, bez mogućnosti automatske regulacije. Iz toga proizilazi da se kvar na sistemu kompenzacije svodi na kvar nekog od pojedinačnih kondenzatora unutar baterije.

Ukoliko pođemo od pretpostavke da kvar na kondenzatoru unutar baterije može biti:

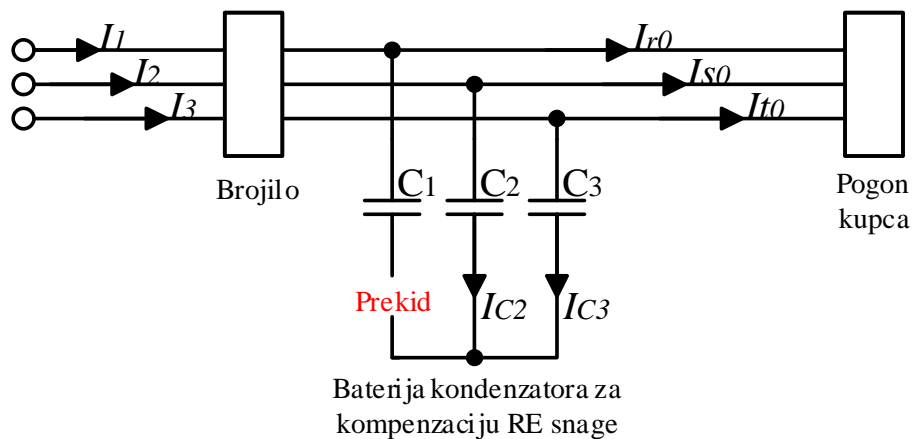
- prekid kondenzatora, koji bi se manifestovao praktično odsustvom kondenzatora u električnom kolu ili
- proboj kondenzatora koji bi se manifestovao trajnim kratkim spojem između tačaka priključenja kondenzatora u tom slučaju,

nameće se zaključak da se radi o prekidu jednog ili više kondenzatora unutar baterije, pošto nije zabeleženo ispadanje osigurača na mernom mestu.

Kako su vrednosti snaga u prvoj fazi praktično iste u obe situacije, postavljene su dve pretpostavke:

- Unutar kondenzatorske baterije, pojedinačni kondenzatori su međusobno vezani u zvezdu i
- Došlo je do prekida u kolu prvog kondenzatora.

Uvažavajući ovde dve pretpostavke, struje u kolu su kao na slici 1.



Slika 1. Struje u pretpostavljenom strujnom kolu – kondenzatori vezani u „zvezdu“

Struje koje vidi i meri brojilo su sledeće:

$$I_1 = I_{r0}$$

$$I_2 = I_{C2} + I_{s0}$$

$$I_3 = I_{C3} + I_{t0}$$

Ovde je potrebno primetiti sledeće – s obzirom na činjenicu da zvezdište nije uzemljeno, ista struja koja ulazi na terminalu T faze baterije kondenzatora izlazi na terminalu S faze baterije kondenzatora, pa su struje I_{C2} i I_{C3} zapravo jedna te ista struja I_{CTS} , koja se dobija priključenjem ekvivalentnog kondenzatora C_{12} (dobijenog iz redne veze kondenzatora C_1 i C_2) na linijski napon U_{TS} .

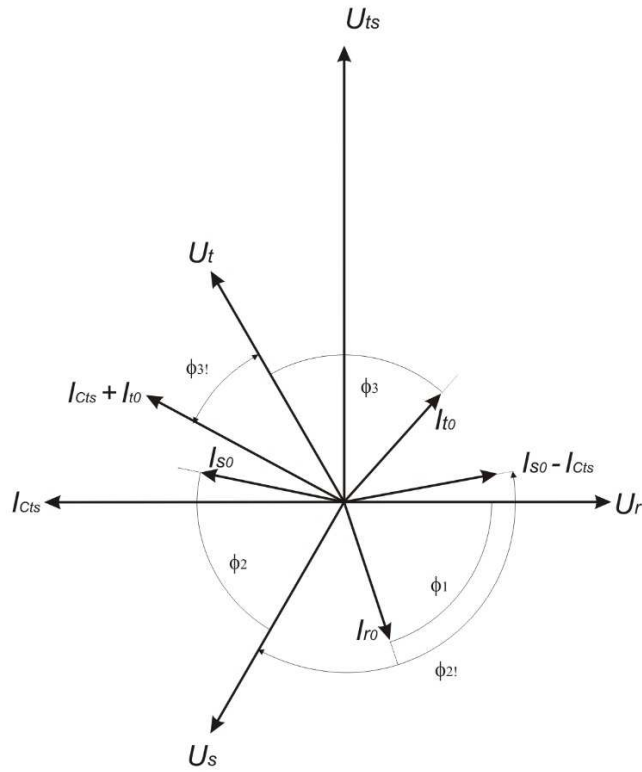
Kada se to unese u gornje jednačine, dobijamo sledeće:

$$I_1 = I_{r0}$$

$$I_2 = I_{s0} - I_{CTS}$$

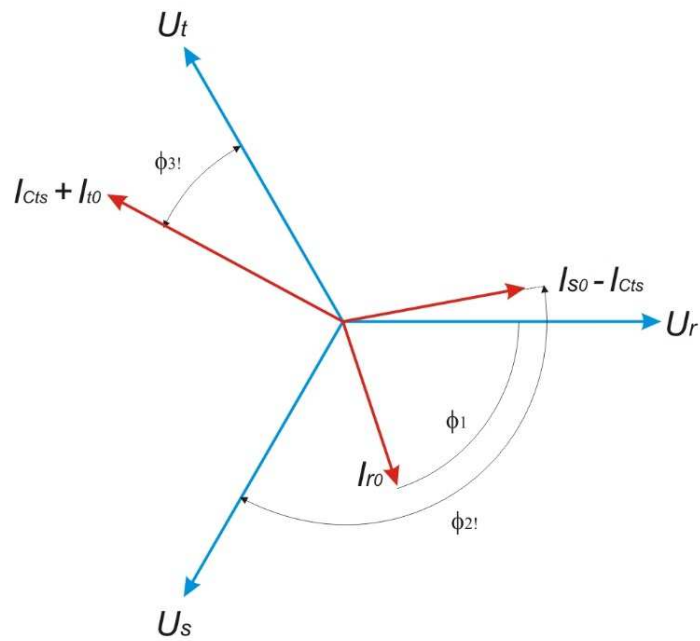
$$I_3 = I_{t0} + I_{CTS}$$

Fazorski dijagrami struja su kao na slici 2:



Slika 2. Fazorski dijagram struja – veza kondenzatora „zvezda“

Na slici 3. prikazan je uprošćeni dijagram sa slike 2.



Slika 3. Prečišćeni fazorski dijagram – veza kondenzatora „zvezda“

Analizom dobijenog dijagrama i upoređivanjem sa vrednostima koje je brojilo izmerilo, potvrđuje se iznešena pretpostavka o vezama unutar kondenzatorske baterije i mestu kvara:

- Vidi se da je struja u prvoj fazi neizmenjena,
- Vidi se da postoji značajan pomeraj struje druge faze, pri čemu struja druge faze sada prednjači u odnosu na napon druge faze,
- Vidi se da takođe postoji pomeraj struje treće faze, pri čemu je fazni ugao između napona treća faze i dobijene struje treće faze znatno manji od prvobitnog.

Sve ovo je i potvrđeno merenjem:

	aktivna snaga [W]	reaktivna snaga [Var]	Prividna snaga [VA]	fazni pomeraj
L1	29	78	83,22	69,605
L2	-55	-66	85,91	-129,806
L3	99	-63	117,35	-32,471

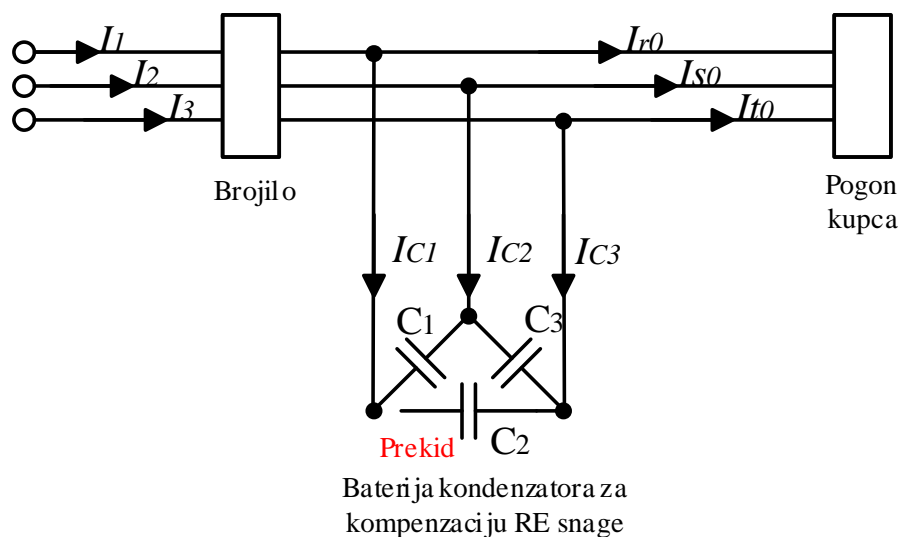
Tabela 3: Izmerene vrednosti trenutnih snaga na mernom mestu sa faznim pomerajem

Sada je i jasno, u ovom konkretnom slučaju, odakle je brojilo zabeležilo da u drugoj fazi postoji „proizvodnja“.

Takođe, jasno je i zašto dolazi do povećanja izmerene aktivne snage u trećoj fazi.

Teoretska analiza slučaja – veza kondenzatora „trougao“

U cilju boljeg razumevanja efekata kvara kompenzacije reaktivne snage na rad modernih elektronskih brojlara električne energije, analizirana je i situacija kada su kondenzatori unutar baterije vezani u „trougao“, a jedan od kondenzatora je u prekidu.



Slika 4. Struje u pretpostavljenom strujnom kolu – veza kondenzatora „trougao“

Kao i ranije, polazimo od pretpostavke da kvar na kondenzatoru unutar baterije može biti:

- prekid kondenzatora, koji bi se manifestovao praktično odsustvom kondenzatora u električnom kolu ili
- proboj kondenzatora koji bi se manifestovao trajnim kratkim spojem između tačaka priključenja kondenzatora.

Slučaj u kome je došlo do kratkog spoja na kondenzatoru nećemo razmatrati pošto to znači da je došlo do kratkog spoja direktno između dva fazna provodnika, pa je jako mala verovatnoća da takav kvar može ostati duže vremena neprimećen i neotklonjen, pa i time i uzrok pogrešnog merenja brojila.

Dakle, u slučaju kada u spoju kondenzatora „trougao“ dođe do prekida jednog od kondenzatora, struje koje vidi i meri brojilo bile bi sledeće:

$$I_1 = I_{C1} + I_{r0}$$

$$I_2 = I_{C2} + I_{S0}$$

$$I_3 = I_{C3} + I_{t0}$$

Ovde je potrebno primetiti sledeće - struje I_{C1} i I_{C3} zapravo čine struju I_{C2} , samo sa negativnim predznakom. Takođe je potrebno primetiti da struja I_{C1} prednjači za 90° u odnosu na linijski napon U_{rs} , dok struja I_{C3} prednjači za 90° u odnosu na linijski napon U_{ts} .

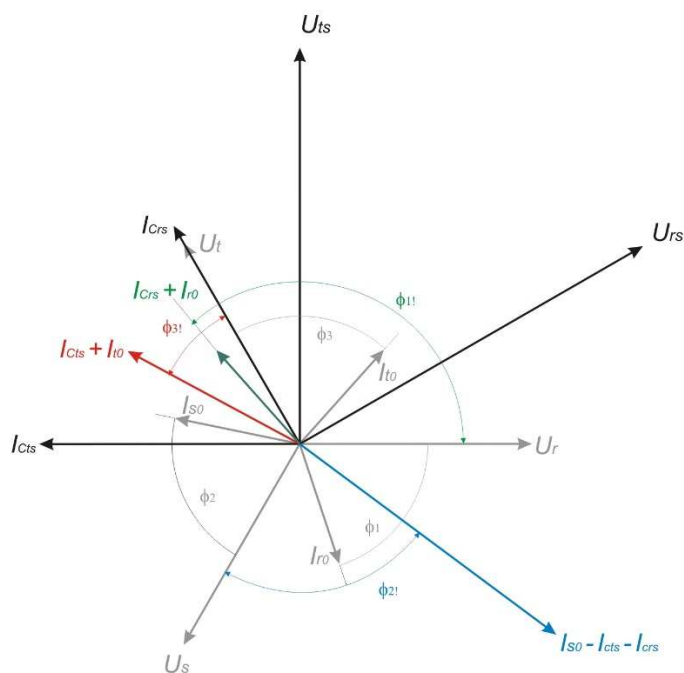
Kada se to unese u gornje jednačine, dobijamo sledeće:

$$I_1 = I_{r0} + I_{CRS}$$

$$I_2 = I_{S0} - I_{CTS} - I_{CRS}$$

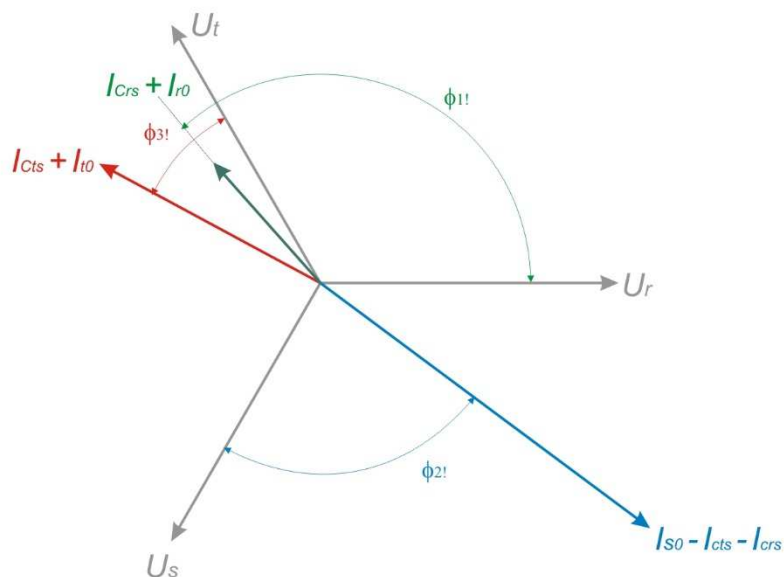
$$I_3 = I_{t0} + I_{CTS}$$

Fazorski dijagrami struja su kao slici 5:



Slika 5. Fazorski dijagram struja – veza kondenzatora „trougao“

Na slici 6. dat je uprošćeni dijagram sa slike 5.



Slika 6. Prečišćeni fazorski dijagram – veza kondenzatora „trougao“

Ovde je potrebno primetiti da u ovom slučaju sva tri merna sistema brojila bivaju pogođeni, tj. očekuje se promena u sva tri merna sistema nakon priključenja / isključenja ovako izvedenog sistema za kompenzaciju reaktivne snage, što se potvrđuje uvidom u fazorski dijagram ekvivalentnih struja.

ZAKLJUČAK

Iz gore navedene analize mogu se izvući sledeći zaključci.

1. U slučaju kada su kondenzatori vezani u zvezdu i kada je došlo do prekida jednog od njih, na mernom mestu gde je postavljena merna grupa sastavljena od indukcionih brojila aktivne i reaktivne električne energije, iako kvar na kompenzaciji utiče na oba brojila, brojilo aktivne energije bi i dalje pravilno registrovalo utrošenu aktivnu energiju i na osnovu tih merenja ne bi moglo da se primeti da postoji neki kvar. U zavisnosti od izvedbe, registar utrošene reaktivne energije na indukcionom brojilu reaktivne energije bi ili stajao ili bi se „vraćao unazad“, što se uvek može protumačiti kao prekompenzacija reaktivne snage, pa je potrebno postaviti pitanje da li bi se ovaj problem uopšte bliže ispitivao.
2. U slučaju kada su kondenzatori vezani u zvezdu i kada je došlo do prekida jednog od njih, na mernom mestu gde je postavljeno moderno dvosmerno elektronsko brojilo, odmah se zapaža postojanje „proizvodnje“ u drugoj fazi, što je jasan indikator da neki problem postoji. Dalje, u zavisnosti od same izvedbe i podešavanja brojila, moguće je čak i povećanje iznosa izmerene aktivne energije, ako se „proizvedena“ energija ne sabira sa potrošenom. Time bi se povećala verovatnoća da sam kupac inicira dovođenje mernog mesta i opreme za kompenzaciju u ispravno stanje.
3. U slučaju kada je kondenzatorska baterija realizovana vezom kondenzatora u trougao i kada je došlo do prekida jednog od njih, na mernom mestu gde je postavljena merna grupa sastavljena od indukcionih brojila aktivne i reaktivne električne energije, ovde se takođe očekuje da bi indukciono brojilo aktivne energije pravilno registrovalo sumu sve tri aktivne energije, dok bi se na brojilu reaktivne energije detektovalo mirovanje ili „vraćanje unazad“ registra utrošene reaktivne električne energije.
4. U slučaju kada je kondenzatorska baterija realizovana vezom kondenzatora u trougao i kada je došlo do prekida jednog od njih, na mernom mestu gde je postavljeno moderno dvosmerno elektronsko brojilo, očekuje se uticaj na sva tri merna sistema, za razliku od slučaja sa vezom u zvezdu, gde je konstatovano da nema promene u sistemu koji je direktno povezan na kondenzator u kvaru. I ovde se može očekivati da bi iznos utrošene električne energije zavisio od načina izvedbe i podešavanja samog brojila, što opet nameće zaključak da bi sam kupac reklamirao ovakvu situaciju.

Kontakt informacije:

Boris Holik, boris.holik@ev.rs, 064-837-2094

Saša Marčeta, sasa.marceta@ev.rs, 064-837-2095