

ИНСТАЛИРАНЕ НА ТРИФАЗЕН РЕАКТОР С ЦЕЛ КОМПЕНСИРАНЕ НА КАПАЦИТИВНА ЕНЕРГИЯ

Васил Димитров, Гюлек Неджиб
vdimitroff@abv.bg

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
1574 София, ул. „Гео Милев“ № 158
БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: Компенсация на реактивна енергия, шунтов реактор, компенсатор на капацитивна енергия

Резюме: Поради високия процент кабелни линии СрН, в това число голям брой кабелни линии на празен ход (без товар), се получава голяма консумация на капацитивна енергия в подстанция „Враждебна“ в гр. София. За компенсирането на тази капацитивна енергия е необходимо инсталирането на компенсиращ шунтов реактор, който да замени съществуващи кондензаторни батерии. В доклада се разглеждат необходимостта и ефектът от инсталирането на трифазен маслен реактор на страна 20 kV в подстанция „Враждебна“. Обосновани са видът и параметрите на използвания реактор в съответствие с конкретните особености на подстанцията. Предвидено е свързаното с монтажа допълнително оборудване (измервателни трансформатори, прекъсвачи и др.), както и необходимостта от блокировки, пренастройка на релейните защиты и реализиране на термична защита. След монтажа се забелязва значителен спад на капацитивната енергия, а факторът на мощност значително се подобрява. Компенсирането на капацитивната енергия ще доведе до намаляване на санкциите относно преноса на реактивна енергия, подобряване качеството на доставяната енергия, намаляване на допълнителното натоварване на съоръженията вследствие на недобре компенсираната реактивна енергия, повишаване на надеждността и намаляване на капиталовите разходи. Следователно при действащата тарифа за измерване и заплащане на капацитивната електрическа енергия е изгодно да се монтират индуктивни компенсиращи устройства.

ВЪВЕДЕНИЕ

Наличието на реактивна енергия в електрическата система е съпроводено със следните негативни последици:

- Некомпенсираната реактивна мощност създава реактивен ток, който натоварва допълнително съоръженията, увеличава капиталовите разходи и намалява надеждността и качеството на електрозахранването.

- Влошава се качеството на енергията;
- Увеличават се загубите в преносните съоръжения;
- Нараства падът на захранващото напрежение;

- Увеличават се топлинните загуби, водещи до стареене на изолацията и аварии;
- Увеличават се престоите;
- Увеличава се отделянето на парникови газове от централите;
- Заплаща се санкция на Електроразпределение за преноса на реактивна енергия: ползвателите на електрическа мощност, по-голяма от 100 kW, трябва да заплащат реактивната енергия, ако техният фактор на мощността ($\cos\varphi$) е по-нисък от 0,9 [1, 2]. Измерва се активната и реактивната енергия и се заплаща само част от потребено количество реактивна енергия, като се използва изразът:

$$(1) \quad W_{\text{запл}} = W_{\text{конс}} - 0,49 \cdot E_{\text{конс}},$$

където: $W_{\text{запл}}$ е част от потребената реактивна енергия, която се заплаща, kVArh

$W_{\text{конс}}$ – потребената реактивна енергия, kVArh

$E_{\text{конс}}$ – потребената активна енергия, kWh

Коефициентът 0,49 отговаря на фактор на мощността 0,9 ($\tan \varphi = 0,49$, когато $\cos \varphi = 0,9$).

Необходимо е да се има предвид, факторът на мощността PF (Power Factor) е съотношението на активната мощност към пълната (привидната) мощност, като при синусоидален ток и напрежение $PF = \cos \varphi$, където φ е фазовият ъгъл между тока и напрежението. При несинусоидален ток се включва изкривяването на формата, причинено от хармоници [3 – 6]:

$$(2) \quad PF = \frac{P}{S} = \frac{P}{U \cdot I} = v \cdot \cos \varphi_{(1)}$$

където v е коефициент на изкривяване на формата (отношението на ефективната стойност на първия хармоник и ефективната стойност на тока):

$$(3) \quad v = I_{(1)} / I$$

Изразът (2) по отношение на общото хармонично изкривяване предполага, че напрежението остава синусоидално, без хармоници. Това опростяване често е добро приближение за източници на напрежение, които не са засегнати от промените в натоварването по веригата в разпределителната мрежа. Пълното хармонично изкривяване THD (Total Harmonic Distortion) на типичните генератори вследствие на изкривяването на формата на тока в мрежата е от порядъка на 1-2%, което в някои случаи може да има по-мощни последици, но може да се пренебрегне в обичайната практика [4, 6].

Факторът на мощността вследствие на дефазирването между тока и напрежението (Displacement Power Factor – DPF – фактор на мощността вследствие на изместване) се изразява чрез косинуса на фазовия ъгъл между първите хармоници на напрежението и тока [4 – 6]:

$$(4) \quad DPF = \cos \varphi_{(1)}$$

Следователно, колкото по-голяма е фазовата разлика между напрежението и тока и / или по-лошо хармоничното изкривяване, толкова по-ниски стойности има факторът на мощността PF .

КОМПЕНСИРАНЕ НА РЕАКТИВНА ЕНЕРГИЯ

Ниският фактор на мощността обикновено се причинява от индуктивни товари като двигатели, трансформатори и др. DPF се отнася само за основния хармоник с честота $f = 50 \text{ Hz}$ и не взема под внимание висшите хармоници на тока. DPF е най-често използван за оразмеряването и измерването на ефективността на компенсиращите кондензатори на фактора на мощността. Ако PF е нисък, но DPF не е, добавяне на компенсатори за коригиране на фактора на мощността може да не помогне. В такъв случай хармониците може да са причината за проблема и добавянето на кондензатори за корекция на фактора на мощността може да не подобри PF или DPF . Трябва да се

вземат под внимание решения, като трансформатори за намаляване на хармониците или линейни реактори.

В някои, по-рядко срещани случаи, се появява необходимост от компенсиране на капацитивна енергия (напр. при дълги захранващи линии, когато са слабо натоварени или при липса на товар – нощно време, почивни и празнични дни, както и при някои специфични товари - UPS, инвертори и др.). Такъв е случаят в подстанция „Враждебна“ в гр. София в последните години, поради спирането на работа на някои предприятия с по няколко трафопоста на територията на обекта. В такъв случай голям брой кабелни линии работят на празен ход (без товар) и се получава голяма консумация на капацитивна енергия. Отпада необходимостта от съществуващите кондензаторни компенсатори на индуктивна енергия. В доклада се разглежда подмяната им и инсталирането на трифазен маслен реактор на страна 20 kV за компенсиране на капацитивна енергия. Обосновани са видът и параметрите на използвания реактор в съответствие с конкретните особености на подстанцията.

ИЗБОР НА КОМПЕНСАТОР

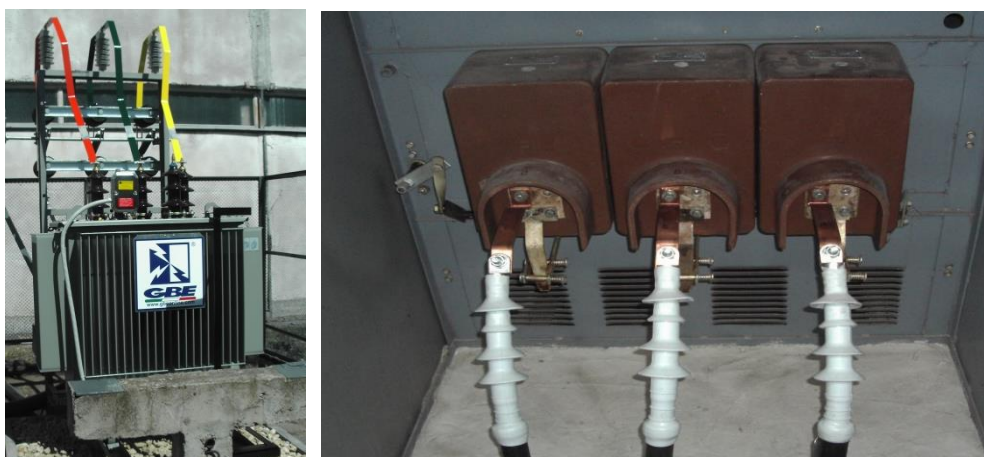
Изборът и проектиране на подходящ реактор за компенсиране на капацитивна енергия са разгледани в [2]. В конкретния случай в подстанция „Враждебна“ реакторът е монтиран на съществуващата площадка на бившата кондензаторна батерия в ОРУ 110 kV. Проектирана и изградена е конструкция за монтаж и закрепване на излизащите от ЗРУ СрН кабели 20 kV (фиг. 1-а) и е предвидено място за вентилни отводи на всяка фаза, както и на разединител за видимо разкъсване на веригата. Захранването на реактора се осъществява директно от изводно поле 20 kV на първа секция в ЗРУ – трите кабела СрН 20 kV са изтеглени през съществуващ кабелен подвал (от КРУ килия № 19 до новоизградената конструкция в площадката). Техническите данни на избрания реактор са показани в табл. 1 Изводното поле (килия № 19) е оборудвано с прекъсвач (маломаслен АК20/600/12 с номинален работен ток 1250А – фиг. 1-б), токови измервателни трансформатори 300/5А и релейни защиты (фиг. 2), като са реализирани максималнотокова защита (МТЗ), токова отсечка (ТО) и земна защита (ЗЗ). Съществуващите електромеханични защиты са адаптирани към монтирания реактор:

- МТЗ – RIT 313 с три токови елемента RI-3 с обхват от 4 до 10А и часовников механизъм;

- ЗЗ – 2 бр. релета А11с $I_n = 1A$ и $I_n = 5A$.

ТО е реализирана също с електромеханични релета тип А11.

Предвидена е и термична защита за следене на температурата на реактора с цифров термометър, получаващ информация от сонда, инсталирана в термо джоб на масления реактор. Защитата действа на две нива - сигнализация и изключване.



Фиг. 1-а) Шунтов реактор; б) маломаслен прекъсвач

Таблица 1 – Технически данни за трифазен реактор тип RS3024.0400

Вид на трифазния маслен реактор	Херметичен, капсулован, с оребрен резервоар	
Номинална мощност Q_n	400 kVAr	
Номинално напрежение U_n	20 kV Y, 50 Hz	
Номинален ток I_n	11,56 A	
Клас на изолация на първичната намотка	20/50/125 kV	
Материал на намотките – първична / вторична	Al / Al	
Стоманен магнитопровод – изолиран	CRGO	
Загуби на мощност ΔP	< 6 kW	
Комбинирано реле	Тип DGPT2	
Габаритни размери д/в/ш	1450/860/1700 mm	
Маса	1500 kg (вкл. минерално масло 400 kg)	



Фиг. 2 Оборудване на килия № 19 в ЗРУ

Реализирани са всички блокировки за подобен тип съоръжения, най-важните от които са следните: не се позволява изключване на разединител при включен прекъсвач; не се позволява отваряне на врата при включен разединител.

Управлението на прекъсвача е дистанционно – с командноактивиращ ключ, непосредствено разположен на предкилиен шкаф. Реализирана е механична блокировка, не позволяваща изваждане на количката на прекъсвача в работно положение без да е извършено заземяване към линия.

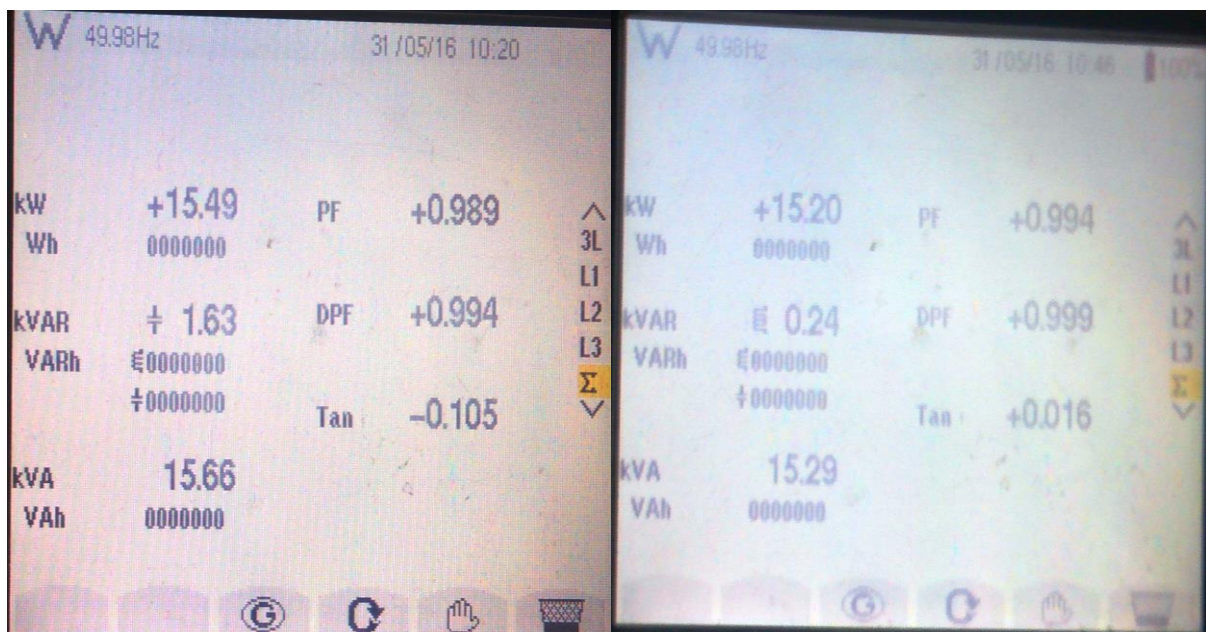
ЕКСПЕРИМЕНТИ

Избраният трифазен шунтов реактор е пригоден за продължителен режим на работа (работен цикъл 100%). Извършени са измервания преди и след монтажа (фиг. 3) със специализирана измервателна апаратура с висок клас на точност. Преди включване в експлоатация на реактора се вижда, че товарът има капацитивен характер: консумира се капацитивна мощност 1,63 kVAr, $\text{tg } \varphi$ е отрицателен (-0,105), а факторът на мощност има стойности $PF = 0,989$ и $DPF = 0,994$.

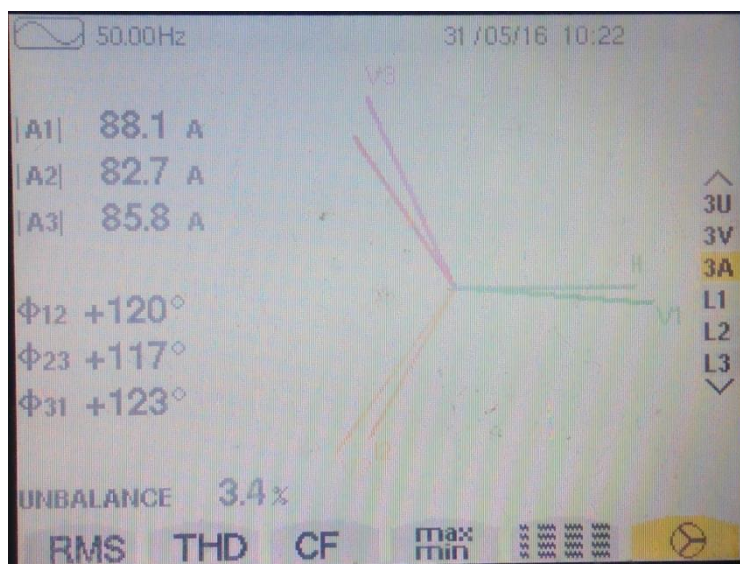
След включване на реактора рязко се променя характерът на товара – консумира се индуктивна мощност 0,24 kVAr, а $\text{tg } \varphi$ вече е положителен (+0,016). Факторът на мощност значително се подобрява – $PF = 0,994$ и $DPF = 0,999$. В съответствие с изрази (2) и (4) може да се счита, че е компенсиран капацитивният характер на товара и $\cos \varphi_{(1)}$ е близък до 1. Коефициентът на изкривяване на формата остава постоянен:

$$(5) \quad \nu = \frac{PF}{DPF} = 0,995$$

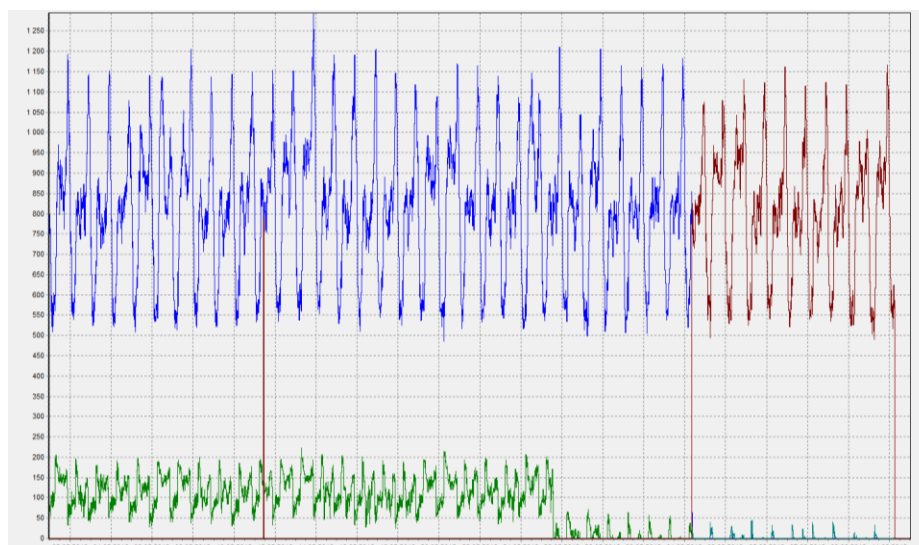
Индуктивният характер на товара проличава и от векторната диаграма на фиг. 4. Ефектът от включването на индуктивния компенсатор ясно се вижда и на фиг. 5 – стойностите на капацитивната енергия (в зелен цвят) рязко намаляват.



Фиг. 3 Показания на измервателната апаратура преди и след включване на реактора



Фиг. 4 Векторна диаграма след включване на реактора



Фиг. 5 Активна и капацитивна мощност преди и след включване на реактора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В доклада е разгледана необходимостта от реактори за компенсиране на капацитивна енергия. Избран е подходящ компенсатор в подстанция „Враждебна“ на страна 20 kV и е показана ползата от внедряването му. След монтажа се забелязва значителен спад на капацитивната енергия, а факторът на мощност значително се подобрява. Следователно при действащата тарифа за измерване и заплащане на капацитивната енергия е изгодно да се монтират индуктивни компенсатори, тъй като еднократната инвестиция ще бъде възвърната за сравнително кратък период, имайки предвид, че нормалният експлоатационен срок е 30 – 35 години.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Наредба за регулиране на цените на електрическата енергия, ДВ бр. 17 / 2.03.2004 г., изм. и доп. ДВ бр. 62 / 31.07.2007 г.
- [2] Неджиб Г., В. Димитров, Изпитване и монтаж на компенсатор на капацитивна енергия, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, т. 14, бр. 3/2, ст. № 1381, 2016
- [3] Павлов Г., М. Томчева, И. Търпов, Експериментално изследване на енергетичните параметри на модернизирания тиристорен локомотив серия 46-200, н. сп. “Механика, Транспорт, Комуникации”, ISSN 1312-3823, том 12, брой 1, статия № 0929, 2014
- [4] Lewotsky K., Understanding Power Factor and Harmonics, MCMA, 2015
- [5] Singh B., A. Chandra, K. Al-Haddad, Power Quality problems and Mitigation Techniques, John Wiley and Sons Ltd, West Sussex, 2015
- [6] Effects of Harmonics on Power Systems, available at:
<https://www.ecmweb.com/power-quality/effects-harmonics-power-systems>

INSTALLATION OF A THREE-PHASE SHUNT REACTOR FOR CAPACITIVE ENERGY COMPENSATION

Vasil Dimitrov, Gulek Nedjib
vdimitroff@abv.bg

Todor Kableshkov University of Transport – Sofia
158 Geo Milev Str., Sofia 1574,
BULGARIA

Key words: Power Factor Correction, Shunt Reactor, Capacitive Energy Compensator

Abstract: Due to the high percentage of MV cable lines, including a large number of idling lines (no load), there is a large consumption of capacitive power at Vrajdebna substation in Sofia. To compensate for this capacitive energy, it is necessary to install compensating shunt reactor to replace existing capacitor batteries. The paper examines the need and effect of installing a three-phase oil reactor at this substation on the side of 20 kV. The type and parameters of the reactor used in accordance with the particular characteristics of the substation are discussed. Supplementary equipment (measuring transformers, circuit breakers, etc.), as well as the need for interlocks, re-setting of the relay protections and realization of thermal protection are provided. After installation, there is a significant drop in capacitive energy and the power factor significantly improves. Compensation of capacitive energy will lead to reduction of sanctions for reactive energy transmission, improvement of delivered energy quality, reducing the additional load on the equipment due to poorly compensated reactive energy, increasing reliability and reducing capital costs. Therefore, the installation of inductive compensating devices is beneficial at the current tariff for measuring and paying capacitive electrical energy.