



## ИЗПИТВАНЕ И МОНТАЖ НА КОМПЕНСАТОР НА КАПАЦИТИВНА ЕНЕРГИЯ

Гюлек Неджиб, Васил Димитров

[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)

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

**Ключови думи:** *Компенсация на реактивна енергия, шунтов реактор*

**Резюме:** *Делът на реактивната енергия е един от основните фактори, който определя икономичността при пренасянето и разпределението на електрическата енергия. За да се оптимизира работният режим, е необходимо пренасяната реактивна енергия да бъде минимална, т.е. факторът на мощността  $\cos \varphi$  да има стойност близка до 1. За целта е необходимо монтирането на компенсиращи устройства – компенсатори на индуктивна или на капацитивна енергия. За разлика от компенсирането на индуктивна енергия (най-често чрез кондензаторни батерии), компенсирането на капацитивна е много по-скъпо и сложно. За целта най-често се използват трифазни дросели (индуктивности, шунт реактори) на ниско напрежение със суха изолация.*

*В доклада се разглежда необходимостта от реактори за компенсиране на капацитивната електрическа енергия. Разгледана е изборът съгласно дадени технически изисквания, монтажът и изпитването на реактор за компенсиране на капацитивна електрическа енергия.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Компенсирането на реактивна енергия е необходимо, тъй като тя се заплаща, ако не се компенсира [1]: 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. Измерва се активната и реактивната енергия и се заплаща само част от потребено количество реактивна енергия, като се използва изразът:

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

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

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

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

коэффициентът 0.49 отговаря на фактор на мощността 0,9 (тангенс от ъгъла  $\varphi$ , за който  $\cos \varphi = 0,9$ ).

Компенсирането на реактивните товари има пряко отношение към качеството на електрическата енергия и повишаването на ефективността на електроснабдителната система. Това налага да се вземат технически и организационни мерки: монтирането на компенсатор на реактивна енергия или санкция от разпределителните дружества, когато

$\cos\varphi$  на консуматора е под 0,9. Всички консуматори са длъжни да имат индуктивен характер. Същевременно съвременните сгради и методи на производство на енергия, както и някои мощни консуматори, повишават нуждата от компенсиране на капацитивна енергия. Тя се проявява 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 (напр. UPS, инвертори и др.). Един пример са предприятията с по няколко трафопоста и разпределителна мрежа насредно напрежение (СрН), която се изпълнява главно с кабели [2]. При работа на основните консуматори в предприятието общата реактивна мощност има индуктивен характер – в такъв режим обикновено се налага дори включване на кондензаторни батерии ( $\text{прис}\cos\varphi < 0,9$  с индуктивен характер). При минимален товар (през нощта, в почивни и празнични дни) и при налична относително дълги електропроводи за СрН, общата реактивна мощност има капацитивен характер – към енергийната система се изнася реактивна енергия, която се заплаща и представлява големи разходи за предприятието.

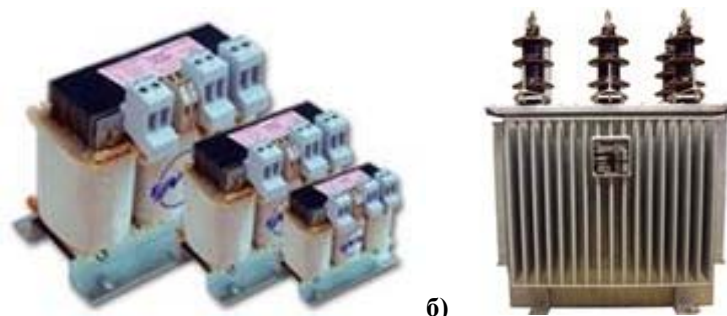
Компенсирането на капацитивна енергия е много по-скъпо и сложно от това на индуктивна [2, 3]. Цел на доклада е да се систематизират начините за компенсиране на капацитивна енергия и да се разгледа изборът съгласно дадени технически изисквания, монтажът и изпитването на реактор за компенсиране на капацитивната електрическа енергия.

## ВИДОВЕ КОМПЕНСАЦИИ НА КАПАЦИТИВНА ЕЛЕКТРИЧЕСКА ЕНЕРГИЯ

За компенсиране на капацитивна енергия в режим на минимален товар (през нощта, в почивни и празнични дни), освен изключване на всички кондензаторни батерии, е целесъобразно включване и надопълнителни индуктивни компенсиращи мощности. За тази цел могат да се използват [2 - 6]:

1. Налични силови трансформатори, работещи в режим на празен ход.
2. Дросели, монтирани на страна средно напрежение в ТП или подстанцията – за целта са необходими свободно място и килии в разпределителната уредба. Комутационните и защитни апарати са скъпи.
3. Дросели, монтирани на страна ниско напрежение в ТП – практически това е икономически най-оправданият начин за компенсация.

Най-често се използват трифазни дросели (индуктивности, шунт реактори) на ниско напрежение със суха изолация (фиг. 1-а). У нас липсва масово производство на такива дросели, но има няколко фирми, които произвеждат дросели със суха изолация по индивидуална поръчка. Относителните загуби на активна мощност в тези дросели са около 0,02 - 0,03 kW/kVA. Компенсирането на ниво СрН (фиг. 1-б) е по-скъпо и сложно, необходимите реактори и прекъсвачи за СрН са скъпи, оправдани са при големи единични мощности и сравнително постоянни товари. При променливи товари те са скъпи и трудно управляеми.



Фиг. 1 Шунт реактори – ниско напрежение (а) и средно напрежение (б)

## ИЗБОР НА КОМПЕНСАТОР

При проектиране на индуктивна компенсираща уредба е необходимо да се избере броят и мощността на степените на уредбата, схемата и режимът на управление [2, 5, 6]. Необходимата мощност на компенсиращата уредба може да се определи по два начина:

– чрез измерване – получава се товаров график от електромера за търговско измерване на върнатата реактивна енергия (извадката трябва да включва поне няколко почивни или празнични дни). Мощността на компенсиращата уредба се приема равна на най-голямата стойност на капацитивната мощност, получена от този график;

– чрез изчисления – необходимо е да се разполага с дължината исечението на всички кабелни и въздушни електропроводи за СрН, разположени след търговския електромер на предприятието.

Броят и мощността на степените, на които може да се раздели индуктивната компенсираща уредба, се избират в зависимост от товаровия график на върнатата капацитивна енергия. Като се има предвид, че дроселите с по-малка единична мощност имат по-висока специфична цена и по-големи относителни загуби на активна мощност не е целесъобразно разделянето на индуктивната уредба на повече от две степени, като при сравнително ниска обща компенсираща мощност е добре да се използва само един дросел.

Техническото задание за компенсатор на капацитивна енергия е изработено за ПСТ Банкя – необходим е единичен трифазен шунтов реактор за страна НН (табл. 1).

Таблица 1 – Техническо задание за трифазен реактор

Характеристика	Изискване
Номинална реактивна мощност $Q_n$	200 kVAr
Номинално напрежение $U_n$	0,4kV, 50 Hz
Материал на намотките	Мед или Алуминий
Загуби на мощност $\Delta P$	< 3200 W (< 1,6% $Q_n$ )
Ниво на шум	Съгл. БДС EN 60076-10:2003
Максимални габаритни размери д/в/ш	550/850/500 mm

Избран е трифазен шунтов реактор на фирмата Hans von Mangoldt GmbH & Co.KG – Germany за продължителен режим на работа (работен цикъл 100%). Техническите му данни са показани в табл. 2 [4, 6].

Таблица 2 – Технически данни на трифазен шунтов реактор

Характеристика	Стойност
Номинална реактивна мощност $Q_n$	200 kVAr
Номинално напрежение $U_n$	0,4kV, 50 Hz
Номинална индуктивност $L_n$	3 x 2,546mH -0% +5%
Номинален ток $I_{th}$	317,5 A
Начин на свързване	звезда
Загуби на мощност $\Delta P$	3000 W
Материал на намотките	Алуминий
Изводи	Cu bar 40x4 mm <sup>2</sup> /14mm
Бандажна лента	стъклотъкан
Клас на изолацията	T45 / H
Изпитателно напрежение	$U_{AC} = 3 kV(1min)$
Температурен сензор на средната намотка	T10/180 NC ( H )
Габаритни размери д/в/ш	480/830/471mm

Избраният трифазен шунтов реактор отговаря на IEC стандарти IEC/EN60076-6 и VDE0532-76-6. Пригоден е за естествено охлаждане, вътрешен монтаж, клас на защита IP00, температура на околната среда  $-25^{\circ}\text{C}$  ...  $+45^{\circ}\text{C}$ , пожаро- и взривобезопасна нормално запрашена среда.

На фиг. 2-4 са дадени графиките на изменение на върнатата реактивна енергия преди и след монтажа на компенсатора по дни и часове. На фиг. 5 е показан външният изглед на реактора и мястото на монтиране.



Фиг. 2 Върната реактивна енергия за периода 10-11.03.2016 г.



Фиг. 3 Върната реактивна енергия за 14.03.2016 г.



**Фиг. 4** Върната реактивна енергия за периода 15-16.03.2016 г.



**Фиг. 5** Външен изглед на монтирания реактор

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е разгледана необходимостта от реактори за компенсиране на капацитивна електрическа енергия. Дадени са техническите изисквания, избран е подходящ компенсатор и е показана ползата от внедряването му. След монтажа се забелязва значителен спад на върнатата реактивна енергия. Нивото на шум е съобразено с изискванията и допустимите стандартни норми. Следователно при действащата тарифа за измерване и заплащане на капацитивната електрическа енергия е изгодно да се монтират индуктивни компенсиращи устройства, тъй като еднократната инвестиция ще бъде възвърната за сравнително кратък период, имайки предвид, че нормалният експлоатационен срок на шунтови реактори 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] Стефанов С., В. Русева., Избор на индуктивни компенсиращи устройства, Научни трудове на Русенския Университет - 2008, том 47, серия 3.1
- [3] Компенсиране на реактивна мощност, сп. Инженеринг ревю, бр.4, 2015

[4] Техническо описание и параметри на трифазни реактори, Hans von Mangoldt GmbH & Co.KG – Germany, 2015

[5] Компенсатори на капацитивна енергия, available at: <http://www.yonelco.com/продукти/компенсиране-на-реактивна-енергия>

[6] Компенсиране на капацитивна енергия, available at: <http://www.stimar-bg.com/products/PFC/PFC.html>

## TESTING AND INSTALLATION OF A CAPACITIVE ENERGY COMPENSATOR

Gulek Nedjib, Vasil Dimitrov  
[vdimitroff@abv.bg](mailto:vdimitroff@abv.bg)

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

**Key words:** *Power Factor Correction, Shunt Reactor*

**Abstract:** *The reactive power proportion is one of the main factors that determines the economy and the inexpensiveness in the transmission and distribution of electricity. It is necessary the transmitted reactive power to be minimal to optimize the operating mode, i.e. the power factor  $\cos \varphi$  should have a value close to 1. This requires installation of compensating devices –compensators of inductive or capacitive energy. Unlike the compensation of inductive energy (mostly through capacitors) capacitive energy compensation is much more expensive and complicated. Three-phase chokes or shunt reactors at low voltage with dry insulation are the most commonly used for this purpose.*

*In this paper the need of reactors for capacitive energy compensation is discussed. The choice of a shunt reactor according to certain technical requirements, as well as its installation and tests are also given.*