

---

---

**ЕНЕРГИЙНО-ЕФЕКТИВНИ МЕРКИ ЗА НАМАЛЯВАНЕ НА  
ВЪРНАТАТА КЪМ ЕЛЕКТРОРАЗПРЕДЕЛИТЕЛНАТА МРЕЖА  
КАПАЦИТИВНА ЕНЕРГИЯ В СИСТЕМАТА НА  
ЕЛЕКТРОСНАБДЯВАНЕТО НА „МЕТРОПОЛИТЕН” ЕАД**

*Емил Додов*  
edodov@abv.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев” 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** *Компенсиращ шунтов реактор, капацитивна енергия*

**Резюме:** *Преносът на реактивна мощност по електрооборудованата система е свързан с редица негативни последици. Сред тях са повишени загуби на активна мощност, а също така се наблюдават и по-големи загуби на напрежение заради импеданса на елементите от електроенергийната система. Известно е, че излишъкът или недостигът на реактивната енергия определя нивото на напрежение в електроенергийната система. Особено неблагоприятно е отдаването на реактивна енергия от абоната към електроразпределителната мрежа. Такъв режим се получава при минимален товар и при него, освен неоправдани загуби на активна енергия, се получава и ненужно повишаване на напрежението при абоната. Компенсирането на реактивните товари има пряко отношение към качеството на електрическата енергия.*

*Предмет на настоящият доклад е генерираната и върната към електроразпределителната мрежа реактивна енергия. Показани са процесът на изследване на капацитивната енергия, изборът и монтажа на компенсиращи устройства в ТПС на метрополитена и получените резултати впоследствие.*

## **УВОД**

Част от тягово понизителните станции (ТПС) на „Метрополитен” ЕАД са с дълги захранващи линии от градските подстанции поради особености на кабелните трасета и възможностите пред доставчика на електроенергия. По време на сервисния режим (през нощта) по метротрасето не се движат влакове. В резултат на горните причини се генерира капацитивна енергия (КЕ), която се връща към електроразпределителната мрежа. Тя се заплаща от метрополитена и понеже количеството ѝ е голямо се налага да бъде компенсирана.

Клиентите на електрическа енергия с търговско измерване на страна ниско напрежение (НН) с предоставена електрическа мощност 100 kW и повече, клиентите с търговско измерване на страна средно (СрН) и високо напрежение и производителите

на електрическа енергия с инсталирана мощност над 30 kW, когато са в режим на потребление на активна енергия, заплащат надбавка върху стойността на активната електрическа енергия в зависимост от използваната реактивна енергия (РЕ) за всеки петнадесет минутен интервал, при който факторът на мощността е по-малък от 0,9. Количеството използвана реактивна електрическа енергия, за което се заплаща надбавка, е положителната разлика между количеството използвана реактивна електрическа енергия и произведението на количеството използвана активна електрическа енергия и коефициент, съответстващ на фактор на мощността 0,9, съгласно формулата [1] :

$$(1) \quad E_{рпл} = E_{ризп} - 0,49 \cdot E_{аизп}, \text{ kvarh}$$

където:

$E_{рпл}$  – част от потребената реактивна енергия, която се заплаща

$E_{ризп}$  – потребената реактивна енергия, kvarh

$E_{аизп}$  – потребената активна енергия, kWh

Коефициентът 0,49 отговаря на фактор на мощността 0,9 (тангенс от ъгъла  $\phi$ , за който  $\cos\phi=0,9$ ).

Цели на доклада:

- да се изследва капацитивната енергия в системата на електроснабдяването на ТПС на метрополитена и да се анализират възможните начини и технически средства за компенсиране на капацитивна мощност
- да се разгледа изборът, монтажът и изпитването на реактори за компенсиране на капацитивната електрическа енергия.
- да се направи сравнителен анализ на върнатата реактивна енергия от ТПС преди и след монтажа на компенсиращите шунтови реактори (КШР).

## КАПАЦИТИВНА ЕНЕРГИЯ И МОЩНОСТИ В ТПС 26А

Измерената отдадена КЕ за три месеца (92 дни) от двете захранващи линии 10 kV на метростанцията (МС) влизачи в съответната комплектна разпределителна уредба (КРУ) на ТПС е дадена в таблица 1.

Таблица 1. Отдадена РЕ за три месеца преди монтиране на КШР

№	МС / Захранваща линия	ТПС / КРУ	Q, [kvarh]		
			м.11.2018	м.12.2018	м.01.2019
1	Летище / Терминал-2	26А/81	27050	26220	26123
2	Летище / Кр. Пастухов	26А/82	24168	24183	23993

В таблица 2 са дадени общата отдадена РЕ, максималните и средните стойности на отдадени реактивни мощности за периода на измерване от двете захранващи линии 10 kV.

Таблица 2. Обща, максимална и средна РЕ за периода на измерване

№	МС / Захранваща линия	ТПС / КРУ	Q общо, [kvarh]	Q max, [kvarh/1h]	Q ср, [kvarh/1h]
1	Летище / Терминал-2	26А/81	79393	67,50	35,95
2	Летище / Кр. Пастухов	26А/82	72344	51,75	32,76

Измерванията са направени с електромери ITRON SL 761B071. Те са монтирани в килиите на градските подстанции съответно на извод „Терминал 2” в подстанция Александър Наумов и на извод „Кр. Пастухов” в подстанция София Изток.

## ОБОСНОВКА ЗА ИЗБОР НА КОМПЕНСИРАЩИ МОЩНОСТИ

Има няколко начина за компенсация на капацитивна мощност [2]:

- съществуващи силови трансформатори в режим на празен ход – високи загуби на активна мощност (0,15 kW/kvar)
- дросели на СрН в подстанциите – огромни съоръжения и скъпи защитни апарати
- дросели на НН в подстанциите – най-често използваният, икономически оправдан метод.

Необходимата мощност на компенсиращата уредба може да се определи от товаровия график на отдадената реактивна мощност и/или чрез пресмятане на генерираната капацитивна мощност от електропроводите и индуктивните загуби на мощност в силовите трансформатори.

За пълно компенсиране на отдадената РЕ е необходимо компенсиращите мощности да бъдат по-големи от максималните отчетени отдадени мощности. Компенсиращите мощности се приемат равни на максималните измерени отдадени мощности. Избират се най-близките стойности закръглени до 5 kvar, както е показано в таблица 3.

Таблица 3. Номинална мощност на КШР

№	МС / Захранваща линия	ТПС / КРУ	Q max, [kvar/1h]	Ном. мощност на КШР, [kvar]
1	Летище / Терминал-2	26А/81	67.50	70
2	Летище / Кр. Пастухов	26А/82	51.75	55

Избраните мощности на компенсиращ шунтов реактор (КШР) ще компенсират генерираната капацитивна мощност от захранващите кабелни линии при нормална работна схема на ТПС, с включени тягови и разпределителни трансформатори към съответните секции на разпределителна уредба (РУ) СрН.

Избрани са КШР тип ТРС производство на фирма УНИТРАФАД ООД България, проектирани и произведени в съответствие с БДС EN 61558 и БДС EN 60076-6.[3] Монтирани са в защитен метален кожух с IP21, с перфорирани отвори за естествена циркулация на въздуха. Основните технически данни на шунтовите реактори използвани за целта са дадени в таблица 4

Таблица 4. Технически данни на КШР

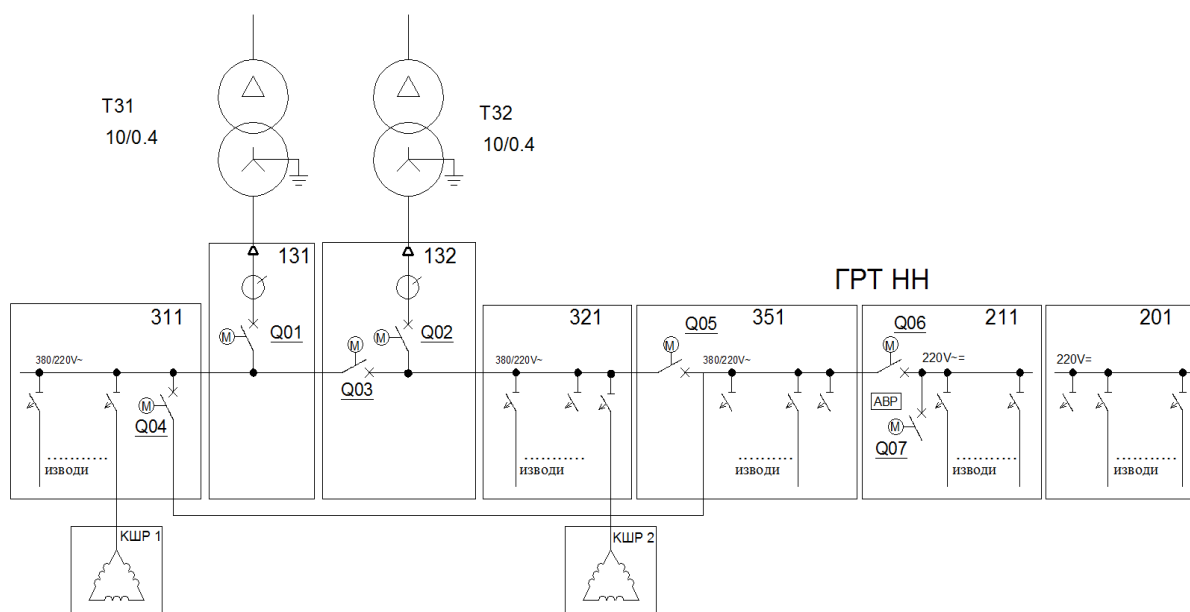
№	Характеристика	Тип	
		TRC55	TRC70
1	Стандарт	БДС EN 61558, 60076-6	
2	Производител	УНИТРАФАД ООД	
3	Страна на произход	Република България	
4	Работно напрежение	400 V	
5	Работна честота, Hz	50 Hz	
6	Максимален ток, А	79.3	101
7	Фактор на мощността, о.е.	< 0.035	< 0.031
8	Номинална мощност, kvar	55	70
9	Пълни загуби, kW	< 2.0	< 2.2
10	Намотки	Cu – мед	
11	Изолационен клас	T40 /H	
12	Схема на свързване	Δ	
13	Охлаждане	AN	

№	Характеристика	Тип	
		TPC55	TPC70
14	Степен на защита	IP00 / IP21	
15	Режим на работа	AN	
16	Термозащита /температура на заработване/, °C	TD 140	
17	Габаритни размери ШxДxВ, mm	570x270x600	570x270x600
18	Тегло, kg	275	410

### ПРИСЪЕДИНЯВАНЕ НА КОМПЕНСИРАЩИТЕ УСТРОЙСТВА

КШР са трифазни с номинално напрежение 0.4 kV. Присъединяването се извършва посредством нови кабелни линии 0.4 kV, изпълнени с трижилни кабели с необходимото сечение и нови автоматични прекъсвачи с лят корпус монтирани в шкаф 311/321 от съответната РУ НН.

На фигура 1 е показана еднолинейна схема за присъединяване на КШР към РУ НН.



Фиг. 1. Еднолинейна схема за присъединяване на КШР към РУ НН на ТПС

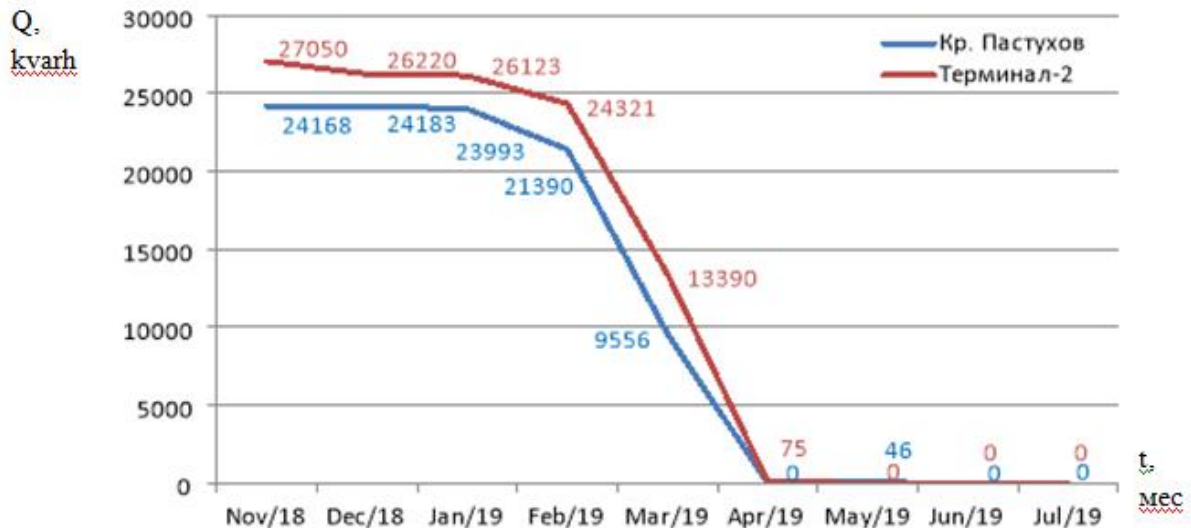
### КАПАЦИТИВНА ЕНЕРГИЯ СЛЕД МОНТИРАНЕ НА КШР

В таблица 5 са дадени общата отдадена капацитивна енергия за три месеца от двете захранващи линии след монтиране на КШР на 14.03.2019 г.

Таблица 5. Отдадена РЕ за три месеца след монтиране на КШР

№	МС / Захранваща линия	ТПС/КРУ	Q общо, [kvarh]		
			м.05.2019	м.06.2019	м.07.2019
1	Летище / Терминал-2	26А/81	0	0	0
2	Летище / Кр. Пастухов	26А/82	46	0	0

На фигура 2 са дадени графиките на изменение на върнатата РЕ за период от четири месеца преди и четири месеца след монтажа, като е включен и месеца, в който са монтирани компенсаторите. На фиг.5 са показани вече монтираните в съответното помещение реактори.



Фиг. 2. Върнатата реактивна енергия за девет месеца



Фиг. 3. Компенсиращи шунтови реактори в ТПС 26А

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И АНАЛИЗИ

В доклада е разгледан въпроса свързан с върнатата в мрежата капацитивна енергия. Показана е необходимостта от монтирането на компенсиращи шунтови реактри. Изследвана е капацитивната енергия в системата на електроснабдяването на една конкретна ТПС на Метрополитена. Анализирани са възможните начини и технически средства за компенсиране на капацитивна мощност. Разгледан е изборът, монтажът и изпитването на реактори за компенсиране на капацитивната електрическа енергия. Вижда се, че след монтажа върнатата реактивна енергия е нищожна. Консумираната допълнително активна енергия е много малко, пълните загуби на реакторите не надвишават 2-2.2 kW. Реакторите са с дълъг експлоатационен период и

бърза възвръщаемост на инвестицията. Доказана е рентабилността при прилагане на този метод за компенсиране на капацитивна енергия.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] Наредба № 1 за регулиране на цените на електрическата енергия, в сила от 24.03.2017 г, изм.и доп. ДВ, бр.50 от 25 юни 2019 г.
- [2] Русева В., Стефанов С., „Избор на индуктивни компенсиращи устройства”, Научни трудове на Русенския университет, том 47, серия 3.1, 2008 г.
- [3] Техническо описание и параметри на трифазни реактори, Унитрафад ООД, 2018 г.

## **ENERGY-EFFICIENT MEASURES TO REDUCE THE RETURNED CAPACITIVE ENERGY TO THE ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORK IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF "METROPOLITEN" JSC**

**Emil Dodov**

*Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA*

**Key words:** *Compensative shunt reactor, capacitive energy*

**Abstract:** *The transmission of reactive power through the power supply system is associated with several negative consequences. Some of them are increased losses of active power and also there are larger losses of voltage due to the impedance of the elements of the power system. It is well-known that the excess or shortage of reactive power determines the voltage level in the power system. The transmission of reactive energy from the user to the electricity distribution network is particularly unfavorable. Such a mode is present when there is a minimum load where, in addition to the unjustified losses of active energy, there is an unnecessary increase in the voltage of the user. The compensation of the reactive load is directly related to the quality of the electricity.*

*The subject of this report is the reactive energy generated and returned to the electricity distribution network. The process of research of the capacitive energy, the selection and installation of compensating devices in the TPSS of the subway and the obtained results will be presented.*