

## ПАСИВЕН КОМПЕНСАТОР НА КАПАЦИТИВНА ЕНЕРГИЯ В КОНТАКТНА МРЕЖА 25 kV

**Петър Матов, Иван Ангелов, Борис Христов,  
Ивайло Донеv, Расим Салкоски**  
[matov@tu-sofia.bg](mailto:matov@tu-sofia.bg)

Технически университет, София 1000, бул.Кл.Охридски №8  
"БДЖ" ЕАД, София 1000, ул.Иван Вазов №3  
**БЪЛГАРИЯ**  
Трансформаторен завод, ЕМО, Охрид 6000  
**МАКЕДОНИЯ**

**Резюме:** Капацитивната енергия се натрупва в търговските електромери на тяговите подстанции по време на паузите без влакова консумация. При влаково движение с електрически локомотиви токът на мрежата с капацитивен характер се наслаждава с по-големия товарен ток на локомотивите и сумата им обикновено носи индуктивния характер на локомотивния ток. Цената на капацитивната енергия е съизмерима с цената на активната енергия и заплащаните за нея суми са значителни. Капацитивният ток на контактната мрежа може да бъде компенсиран с индуктивен ток от допълнително устройство (индуктивен компенсатор). В доклада е описано създаването на първия пасивен компенсатор на капацитивна енергия в контактните мрежи у нас.

**Ключови думи:** индуктивен компенсатор, капацитивна енергия, електрооснабдяване, електрически транспорт

### ВЪВЕДЕНИЕ

Контактните мрежи имат разпределен капацитет, който, при наличие на захранващо напрежение, генерира капацитивна мощност и във времето - капацитивна енергия. Големината на капацитивната енергия се определя основно от дължината на подстанционната зона и плътността на графика на движение на влаковете. При влаково движение с електрически локомотиви, капацитивният ток на мрежата се наслаждава с товарния ток на локомотивите и сумата им обикновено носи индуктивния характер на по-големия товарен ток. Всяка пауза без тягов ток, независимо от нейната продължителност (но с напрежение), е съпроводена от капацитивен ток, капацитивна мощност и съответната ѝ капацитивна енергия. Втора причина за натрупване на

капацитивна енергия е уравнилния ток, съответно уравнилната мощност, при паралелна работа на съседни тягови подстанции. Количествено, засега, капацитивната енергия представлява 5-10% от активната енергия, употребена за влаково движение. По действащата Наредба за ценообразуване на електроенергията [1] цената на капацитивната енергия е приблизително равна на цената на активната енергия. Това налага намиране на техническо решение за елиминирането ѝ. Капацитивният ток на контактната мрежа може да бъде компенсиран с индуктивен ток от допълнително устройство (индуктивен компенсатор). Мощността на този компенсатор трябва да е съизмерима с капацитивната мощност на контактната

мрежа, а мястото му в електрическата верига, трябва да бъде пред средствата за мерене на електроенергия в тяговата подстанция.

## ЕКСПЕРИМЕНТИ, ИЗМЕРВАНИЯ И ИЗЧИСЛЕНИЯ

Определянето на необходимата мощност на индуктивния компенсатор може да стане или по опитен, или по изчислителен път. Опитният път преминава през няколко варианта:

а) експериментално доказателство, че индуктивната компенсация изобщо е приложима;

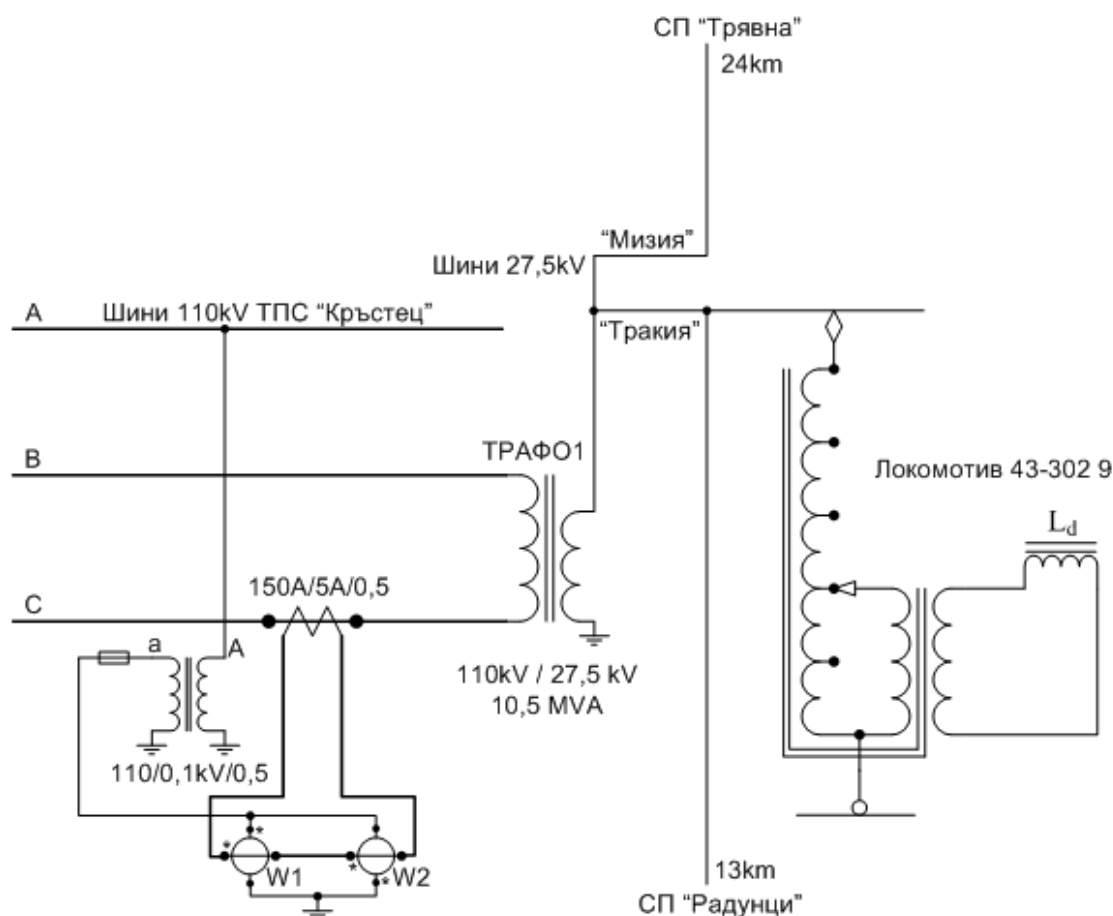
б) използване на данни за капацитивната енергия от търговските електромери на тяговите подстанции;

в) измерване на капацитивната енергия по изводи от тягови подстанции;

г) измерване на големината на капацитивната мощност на изводи от тягови подстанции;

д) измерване на големината на капацитивния ток на изводи от тягови подстанции и т.н.

*Експериментът* е направен с импровизиран индуктивен компенсатор в ТПС "Кръстец" на 10 май 2003г. За целта е използван изглаждащият реактор от веригите на тяговите двигатели на един редови локомотив (43-302 9). Локомотивът е закаран на собствен ход в близост до тяговата подстанция. След сваляне на пантографа, силовата му електрическа схема е модифицирана, а някои блокировки са отстранени. Изменението се свежда до елиминиране на диодните изправители и тяговите двигатели по такъв начин, че към вторичната намотка на локомотивния трансформатор да останат свързани само изглаждащите реактори. В резултат на промяната, токът през реакторите е променлив и регулируем чрез превключвателя на степените. Токоприемникът на локомотива се явява извод на еквивалентен мощен регулируем дросел за напрежение 25kV – фиг.1.



Фиг.1

Реактивната мощност се измерва по индиректна схема с два противоположно свързани ватметъра за активна мощност  $W_1$  и  $W_2$ . На тях е подадено дефазиранието на  $90^\circ$  напрежение на третата, неизползваната, фаза и тока на тяговия трансформатор. При набиране на позиции в посока от 0 до 10 на локомотивния трансформатор показанията на единия варметър плавно намаляват до нула и след това показанията на втория уред започват да растат от нула. Тази качествена проверка доказва приложимостта на един общ индуктивен компенсатор на капацитивната мощност (енергия) за една цяла тягова подстанционна зона. Положителният резултат от опита в ТПС "Кръстец" (еднопътен участък с  $13\text{км} + 24\text{км} = 37\text{км}$  дължина на контактна мрежа общо от фидерни зони) доведе до аналогично решение в ТПС "Вакарел" (двупътен участък с общо  $4 \times 51\text{км} = 204\text{км}$  - общо от четирите фидерни зони и две диспечерски централизации). Използвани са тягов трансформатор LTS 4,8/25 и изглаждащ реактор от локомотиви 42 серия на БДЖ, монтирани в закрит товарен вагон. Високоволтовият край на трансформатора е изведен през покрива на вагона с проходен изолатор. Връзката с шини 25 kV на тяговата подстанция се извършва през прекъсвача и защитата на извода за ненужната вече "Кондензаторна батерия". Необходимата мощност на компенсатора е постигната чрез настройки и минимизация на върнатата (капацитивната) енергия по търговските електромери и месечните фактури в периода октомври-декември 2003г. В зависимост от позицията на трансформатора и напрежението в момента на мерене, токът на високоволтовата страна на компенсатора е с големина  $7 \div 10\text{A}$ . Управлението на компенсатора е автоматизирано според характера на консумацията чрез създаденото специално електронно реле за реактивна мощност. Експериментирането с автоматично включване и изключване на компенсатора на нисковолтовата страна показва, че от такова управление няма особена ефективност. Този извод, заедно с незначителното оскъпяване на активната електроенергия от индуктивната съставка доведе до идеята за пасивна коомпенсация с постоянно включено устройство и мощност  $180 \div 250\text{kVA}_{\text{rL}}$ . Описаният пасивен компенсатор продължава да работи и през 2009г.

Уточняването на необходимата мощност на индуктивния компенсатор премина и през измерването на големината на капацитивната мощност и върнатата енергия по изводи от тягова подстанция Карлово през февруари 2006г. Заключениеето от анализа на резултатите от измерването е, че в еднопътен участък разпределеният капацитет на контактната мрежа формира разпределена капацитивна мощност с големина  $2.53\text{kVA}_{\text{r}}/\text{km}$  (за извод Розино) и с големина  $2.54\text{kVA}_{\text{r}}/\text{km}$  (за извод Калофер). Мощностите са изчислени с напрежение 27,0 kV. За ТПС Карлово разгънатата дължина на всички проводници под напрежение 27,5 kV (на контактната мрежа в открит път и над коловози в гари, включително и на изводите Баня и Карлово) е около 100 km. Необходимата мощност на индуктивния компенсатор за мрежа с такава дължина е  $(2,54\text{kVA}_{\text{r}}/\text{km}) * 100\text{km} = 254\text{kVA}_{\text{r}}$ .

С изчислената мощност са поръчани, конструирани и изработени два еднофазни реактора за номинално напрежение 27,5 kV. Конструкцията и изработката им е на ЕМО, Охрид, Македония. Монтирани са и са включени под напрежение през август 2006г. в ТПС Карлово и ТПС Пирдоп. Ефектът от работата на пасивния компенсатор в ТПС Пирдоп може да се проследи по върнатата (капацитивна) енергия от търговските електромери на тази подстанция преди и след неговото включване:

- за една година (2005) 1522 MVA<sub>r</sub>h,
- за шест месеца (VIII.2006÷I.2007 вкл.) 225 MVA<sub>r</sub>h.

Ефектът е значителен, но без категоричност на резултата. Обяснението е с намесата на други, некоментирани до този момент в изложението, фактори. Влияещите на степента на компенсацията фактори са два:

1). - захранване на части от контактната мрежа на съседната подстанция през секционния пост за повече или по-малко време (прозорци) по различни причини - профилактика, аварии и др. Разгънатите дължини на контактните мрежи се увеличават, увеличава се и тяхната капацитивна мощност. Мощността на пасивния индуктивен компенсатор в тези случаи си остава непроменена и обикновено е недостатъчна за компенсация на значително удължени участъци;

2). - паралелна работа на две съседни тягови подстанции и поява на уравнителен ток, който за едната подстанция, при съвпадение на определени условия, е с капацитивен характер [2]. Капацитивната мощност в този случай може да бъде толкова голяма, че за няколко часа да натрупа такова количество капацитивна енергия, колкото се получава от разпределения капацитет на контактната мрежа за месец.

И двата фактора се характеризират с непредвидимост както на големината на капацитивната мощност, така и на моментите на нейната поява и времетраене. Компенсирането ѝ може да стане не с пасивни, а с активни компенсатори със значително по-голяма от 250 kVAг мощност.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Създаденият пасивен компенсатор на капацитивна енергия в контактни мрежи 25 kV намалява количеството ѝ значително - в проследения случай до шест пъти.

2. Създадените конструкция и схема на свързване на пасивен компенсатор на капацитивна енергия в контактни мрежи 25 kV са сравнително прости.

3. Простотата на конструкцията на пасивния компенсатор на капацитивна енергия в контактни мрежи 25 kV води до сравнително ниската му цена и бърза възвращаемост на средствата за закупуването му. В разглеждания случай това стана за по-малко от 6 месеца.

## ЛИТЕРАТУРА:

[1] НАРЕДБА за образуване и прилагане на цените и тарифите на електрическата енергия, Приложение №1 към чл.1 на ПМС №53/2002г., изменяна 2004г. и 2007г.

[2] Матов П., Капацитивна електроенергия при паралелна работа на тягови подстанции, XIII научна конференция с международно участие, "Транспорт 2003", София, 13-14 ноември 2003г., Сборник доклади на ВТУ"Т.Каблешков", стр.323-326.

## PASSIVE COMPENSATOR OF CAPACITIVE ENERGY IN 25 kV CONTACT NETS

**Petar Matov, Ivan Angelov, Boris Hristov, Ivajlo Donev, Rasim Salkoski**  
[matov@tu-sofia.bg](mailto:matov@tu-sofia.bg)

*Technical University - Sofia, BDZ EAD  
, EMO Sofia 1000, 8 Kliment Ohridski blvd; Sofia 1000, 3, Ivan Vazov str; Ohrid, Macedonia*

**Key words:** *Inductive Compensator, Capacitive Energy, Electric Traction Power Supply*

**Abstract:** *The capacitive energy is accumulated in the commercial electricity meters of electrical traction substations in the intervals without train consumption. During the train running time with electric locomotives the currents with capacitive character are superimposed with the bulk power of locomotives and the amount typically carry inductive nature of train current. The price of the capacitive energy is comparable to the cost of active energy and the bill is significant. Capacitive current of the contact network can be compensated by inductive power from the specialised device (inductive compensator). The report describes the establishment of the first passive compensator of capacitive energy in the contact network in the country.*