

Избор на индуктивни компенсирани устройства

Стефан Стефанов, Вяра Русева

Избор на индуктивни компенсирани устройства: В статията са анализирани възможните технически средства за компенсация на капацитивна мощност. Препоръчано е използването на дросели, монтирани на страна ниско напрежение. Предложени са два метода за определяне необходимата мощност на индуктивните компенсирани устройства. Посочени са три възможни начина за управление на дроселите и областите на тяхното приложение.

Ключови думи: Капацитивна мощност, Индуктивни компенсирани устройства, Дросели.

ВЪВЕДЕНИЕ

Делът на реактивната енергия е един от основните фактори, който определя икономичността при пренасянето и разпределението на електрическата енергия. За да се оптимизира работния режим е необходимо пренасяната реактивна енергия да бъде минимална, т.е. факторът на мощността $\cos \phi$ да има стойност близка до 1 [6]. Особено неблагоприятно е отдаването на реактивна енергия от абоната към хранващата 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.

Според действащата тарифа за електрическа енергия [2] абонатите с предоставена електрическа мощност 100 kW и по-вече измерват и заплащат потребената от и отдадената в електрическата мрежа реактивна енергия. За целта те трябва да имат монтирани два електромера за реактивна енергия, всеки със спиралка (или един статичен електромер с няколко тарифи). Единият електромер, който е с две (или три) тарифи, измерва закупената реактивна енергия. Другият електромер, който е еднотарифен, измерва отдадената, т.е. върнатата обратно, реактивна енергия в електрическата мрежа на продавача. Тази реактивна енергия се заплаща на цена за 1 kVAh, равна на цената за 1 kWh активна електрическа енергия от средната продажна цена на обществените снабдители за предходната календарна година. Затова и през трите тарифни зони не бива да се допуска отдаване на реактивна (капацитивна) енергия към хранващата електрическа мрежа.

Целта на работата е да се предложи методика за избор на индуктивни компенсирани устройства.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В предприятията с по няколко трафопоста има разпределителна мрежа на средно напрежение (СН), която се изпълнява главно с кабели. Тези линии генерират капацитивна енергия. Според нормативните документи [3, 4] търговското измерване на електрическата енергия се извършва на границата на собственост между продавача и купувача. При хранване на предприятието чрез радиален електропровод на СН, той обикновено е собственост на купувача. Тогава търговските електромери трябва да се монтират в началото на електропровода, т.е. генерираната от него капацитивна енергия също се измерва.

Общата реактивна мощност на предприятието Q , във всеки момент от времето, представлява сума от три съставлящи:

$$Q = Q_n + \Delta Q - Q_c, \quad (1)$$

където Q_n е индуктивната мощност на всички потребители, kVAg;

ΔQ – индуктивните загуби на мощност във всички трансформатори, апарати и електропроводи в предприятието, kVAg;

Q_c – генерираната капацитивна мощност от всички електропроводи в предприятието (след търговския електромер), kVAr;

При работа на основните консуматори в предприятието, Q_n има голяма стойност, загубите ΔQ също са големи и общата реактивна мощност има индуктивен характер. В такъв режим обикновено се налага включване и на кондензаторни батерии (при индуктивен $\cos\varphi < 0,9$).

При *минимален товар* (през нощта, в почивни и празнични дни) и при наличие на относително дълги електропроводи за СН, общата реактивна мощност има капацитивен характер. Към енергийната система се изнася реактивна енергия, която се заплаща и представлява големи разходи за предприятието. В такъв режим, освен изключване на всички кондензаторни батерии, е целесъобразно включване и на допълнителни индуктивни компенсиращи мощности. За тази цел могат да се използват [5]:

1. Налични силови трансформатори, работещи в режим на празен ход. В табл.1. е пресметната консумацията (загубите) на индуктивна мощност при празен ход за масово използваните у нас трансформатори с маслена изолация. Такъв метод за компенсация е икономически нецелесъобразен, тъй като при празен ход загубите на активна мощност в трансформатора са около 15 % от компенсиращата реактивна мощност (0,15 kW/kVAr).

Таблица 1.

Загуби на индуктивна мощност ΔQ_0 и на активна мощност ΔP_0 при празен ход в трансформатори с маслена изолация

S_n , kVA	160	250	400	630	1000	1600
ΔQ_0 , kVAr	3,20	5	6	8,2	10	16
ΔP_0 , kW	0,46	0,65	0,93	1,3	1,75	2,7
$\Delta P_0/\Delta Q_0$, kW/kVAr	0,14	0,13	0,16	0,16	0,18	0,17

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 оправдания начин за компенсация. 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/kVAr.

При проектиране на индуктивна компенсираща уредба е необходимо да се изберат броят и мощността на степените на уредбата, схемата и режимът на управление.

Необходимата мощност на компенсиращата уредба може да се определи по два начина:

– *чрез измерване*. Прилага се само за предприятия в експлоатация. 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 и сечението на всички кабелни и въздушни електропроводи за СН, разположени след търговския електромер на предприятието. Генерираната от тях капацитивна мощност Q_c се пресмята по някои от вариантите на уравнение (2):

$$Q_c = \omega \cdot c_0 \cdot \ell \cdot U^2 = 3 \cdot I_3^2 \cdot x_0 \cdot \ell = U^2 \cdot b_0 \cdot \ell, \quad (2)$$

където ω е ъгловата честота. При честота 50 Hz $\omega = 314$;

c_0 – капацитет на електропровода, F/km;

ℓ – дължина на електропровода, km;

I_3 – ток на земно съединение (на празен ход) на електропровода, A;

x_0 – специфично индуктивно съпротивление на електропровода, Ω /km;

b_0 – специфична капацитивна проводимост на електропровода, S/km.

При определяне на генерираната капацитивна мощност трябва да се има предвид, че тя не е постоянна, а зависи от сечението на проводника, вида и състоянието на изолацията, приложеното напрежение и др. фактори. Най-съществено е влиянието на конкретната стойност на напрежението, което при минимален товар обикновено е по-високо от номиналното.

При въздушни електропроводи СН влиянието на сечението е слабо и капацитивната мощност се изменя в тесни граници. При напрежение 20 kV може да се приеме усреднено $Q_{co} \approx 1,4$ kVAr/km.

При кабелни линии, изброените по-горе фактори влияят в по-голяма степен и капацитивната мощност се изменя в широки граници. В табл. 2 са дадени стойности за генерираната капацитивна мощност от кабели от типа САХЕКТ и САХЕМТ при полагане в сноп (триъгълник) [1].

Таблица 2.

Генерирана капацитивна мощност от кабелни линии Q_{co} , kVAr/km

Сечение, mm ²	50	70	95	120	150	185
10 kV	7,9	8,8	9,7	10,4	11,6	12,6
20 kV	22,6	25,1	27,6	28,9	31,4	34,0

Във всички електропроводи се получават загуби на индуктивна мощност. Те са пропорционални на квадрата на протичащия ток. При голям товар компенсират генерираната капацитивна мощност, но при празен ход са пренебрежимо малки.

Необходимата мощност на дросела Q_d е:

$$Q_d = Q_c - (Q_{nmin} + \Delta Q_{min}), \quad (3)$$

където Q_{nmin} е индуктивната мощност на всички потребители в режим на минимален товар, kVAr;

Броят и мощността на степените, на които може да се раздели индуктивната компенсираща уредба, се избират в зависимост от товаровия график на върнатата реактивна мощност. 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. Изследванията показват [5], че при обща компенсираща мощност до 50 kVAr, е добре да се използва само един дросел.

Управлението на дросела (дроселите) в индуктивната компенсираща уредба може да се извърши по няколко начина:

- ръчно – експлоатационният персонал изключва дросела в началото на работния ден (период) и го включва в края. Подходящо е да се използва при повтарящ се товаров график, с ясно отчетан работен и почивен период, и наличие на съответен персонал;

- автоматично, чрез регулатора за управление на кондензаторните батерии. Тъй като предлаганите регулатори нямат такава функция, може да се

допълни схемата за управление, като дроселът се включва след изключване на последната кондензаторна степен;

- автоматично, чрез токово реле (релета), което контролира общия товар на обекта. Дроселът се включва при намаляване на товара под определена минимална стойност. Този начин е подходящ при компенсиращи уредби с по-голяма мощност, разделена на няколко степени. Той позволява да се минимизират загубите на активна мощност, получени от пренасянето на реактивна мощност.

За всеки конкретен обект схемата за управление трябва да се избере и разработи в зависимост от товарния график на реактивната мощност и от необходимата мощност на индуктивната компенсираща уредба.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При действащата тарифа за измерване и заплащане на реактивната електрическа енергия, за предприятията със значителна дължина на електропроводите за средно напрежение, е изгодно да монтират индуктивни компенсиращи уредби. За тази цел е подходящо да се използват трифазни дросели за ниско напрежение със суха изолация.

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

За управление на компенсиращите дросели е подходящо да се използват:

- автоматичният регулатор, използван за управление на кондензаторните батерии в предприятието – при индуктивна уредба с една степен;
- минимално токови релета, контролиращи общия товар на предприятието – при индуктивна уредба разделена на няколко степени.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михайлов Л., Графично определяне на токовете на късо съединение по електропроводи средно напрежение. Енергетика, С., 2005, 5.
- [2] Наредба за регулиране на цените на електрическата енергия, ДВ, 2004, бр. 17 (изм. и доп., бр. 62 от 31.07.2007).
- [3] Наредба № 6 от 9.06.2004 г. за присъединяване на производители и потребители на електрическа енергия към преносната и разпределителните електрически мрежи, ДВ, 2004, бр. 74 (изм. и доп., бр. 25 от 5.03.2008).
- [4] Правила за търговия с електрическа енергия, ДВ, 2008, бр. 46.
- [5] Русева В., К. Сираков, С. Стефанов, И. Палов. Изследване изменението на реактивните товари на токоизправителни станции, захранващи тролейбусен транспорт. Енергетика, С., 2006, 6, 9-13.
- [6] Стефанов С, И. Палов, В. Русева, К. Сираков. Относно нормирането на фактора на мощността. Енергетика, С., 2005, 4, 33-37.

За контакти:

Доц. д-р инж. Стефан П. Стефанов, Катедра "Електроснабдяване и електрообзавеждане", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 616, E-mail: stefanov@ru.acad.bg.

Докладът е рецензиран.