

ЕФЕКТИВНА КОМПЕНСАЦИЯ НА РЕАКТИВНИТЕ ТОВАРИ СЪС СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ

Стефан Чобанов, Менто Ментешев

СМС-С ЕООД, 2070 Пирдоп

РЕЗЮМЕ: В обогатителните фабрики, например Асарел Медет, Елаците Мед, има значителен брой инсталирани синхронни двигатели (СД), чиято единична мощност достига до 2,5MW. Използват се за задвижване на мелници с автогенно и с топково смилане, на помпи, компресори и въздуходувки. Доказва се, че при определени условия, въпреки значително по-големите загуби на активната мощност за генериране на 1 kVAr реактивна (капацитивна) мощност спрямо кондензаторните батерии, СД могат да се използват ефективно за подобряване на фактора на мощността. Поддържането на консумация на реактивна енергия, лимитирана от неутралната стойност ($\cos\varphi=0.9$), води до осезателно намаляване на консумираната активна мощност за компенсация и до спестяване на значителни парични средства. Разработена методика, позволява да се определят икономии при оптимизиране на компенсацията.

EFFECTIVE COMPENSATION OF REACTIVE LOADS BY SYNCHRONOUS MOTORS

Stefan Chobanov, Mento Menteshov

СМС-С Ltd., 2070 Pirdop, Bulgaria

ABSTRACT: In the enrichment plant such as Asarel Medet, Elacite Med, there are considerable number of synchronous motors installed (SM), whose unit power is up to 2.5MW. They are used for driving mills having autogenous or ball milling, for pumps, compressors and air blowers. It is proved that under defined conditions despite considerably bigger loss of active power for generating 1kVAr reactive (capacitive) power in relation to capacitor banks, SM could be used effectively for improvement of power factor. Supporting the consumption of reactive energy limited by the neutral rate ($\cos\varphi=0.9$) leads to significant decrease of consumed active power for compensation as well as saving of considerable funds. Developed methodology allows defining of the economies by optimizing the compensation.

Синхронните двигатели са със забележимо присъствие в минните предприятия. Те са основни задвижвания на мелниците в обогатителните фабрики, чиято мощност достига 2,5MW. Намират приложение за задвижване на мощни помпи, вентилатори, компресори и др. Синхронните двигатели са използвани като мрежови в багери с постоянно-токови задвижвания.

Освен основното си предназначение – задвижването на машини те се използват и като генератори на реактивна мощност с капацитивен характер за подобряването на фактора на мощност $\cos\varphi$. Веднага трябва да се подчертае, че произвежданата реактивна мощност е на няколкократно по-висока цена спрямо тази произвеждана от кондензаторните батерии. Това се определя от многократно по-голямата загуба на активна мощност в синхронните двигатели достигащи до 5%, за генериране на 1kVAr капацитивна мощност.

Логично е, а в повечето случаи и икономично обосновано е при наличие на синхронни двигатели, при това с осезаема мощност 10^2 - 10^3 kW, в електрическите уредби те да се използват и за подобряване на $\cos\varphi$.

Предвид на значителната загуба на активна мощност 0,009 до 0,05kW / kVAr, усилията трябва да се насочат към

генерация на минималната необходима реактивна мощност. Този минимум трябва да се лимитира от нормираната като минимална средномесечна стойност на $\cos\varphi_n=0.90$, определен по отделно за върховата и за дневната зони.

При съществуващите две форми на заплащане на електрическа енергия – по регулирани цени или по пазарни (договорени) цени, при стойности на $\cos\varphi$ под 0,9, или при консумация на реактивна енергия над лимита (изчислен при $\cos\varphi=0.9$) потребителите се санкционират чрез повишаване на цената на консумираната активна енергия. Съществено е да се подчертае, че поддържането на $\cos\varphi>0,9$ не води до опции, така както беше в по-далечното минало.

Основният извод, който трябва да се направи, е че от пазарна гледна точка, постигането на $\cos\varphi>\cos\varphi_n$, което става с цената на допълнителни разходи от потребителя, е не само безсмислено, но води и до допълнителни загуби. Това в особено висока степен води, когато компенсирателното на реактивните товари става със превъзбуждане на синхронните двигатели.

Тази констатация е с противоположен знак за производителя и дистрибутора на ел.енергия, тъй като по-

високите от 0,9 стойности на фактора на мощността облекчават режима на работа на генераторите и намаляват загубите при преноса на електрическа енергия. Ето защо те приемат с мълчаливо благоразположение консумацията на ел.енергия при $\cos\varphi > 0,9$, но безкомпромисно санкционират потребителите при $\cos\varphi < 0,9$.

На фона на резултатите, че при компенсиране на реактивната мощност със синхронните двигатели, поддържането на $\cos\varphi > 0,9$ е свързано със значителни загуби на ел.енергия и средства за нейното заплащане. Тези загуби са свързани пряко с нарастването на $\cos\varphi$ спрямо $\cos\varphi_n = 0,9$ и косвено с консумираната активна мощност.

Критерият за ефективността на компенсацията, особено ако е осъществена от синхронни двигатели, е генерираната реактивна (капацитивна) мощност довеждаща до прекомпенсацията ΔQ да бъде близка до нула:

$$\Delta Q = P(tg\varphi_d - tg\varphi_n) \rightarrow 0 \quad (1)$$

където:

P е консумираната активна мощност

φ_d -действителната достигната стойност на фазовия ъгъл между напрежението и тока

φ_n - нормираната или възприетата за гранично допустима стойност на фазовия ъгъл

Тъй като в енергетиката като фактор на мощността се използва косинуса от ъгъл между векторите на напрежението и пълният ток, по удобна за използване е модифицираната зависимост:

$$\Delta Q = P[tg(\arccos\varphi_d) - tg(\arccos\varphi_n)] \quad (2)$$

Тази форма е по-удобна и за изчисление, тъй като в повечето съвременни калкулатори са въведени клавиши и с обратните тригонометрични функции.

Тъй като представляват интерес средните стойности за $\Delta Q, P, \cos\varphi_d$, за определен интервал от време (месеци, седмици и т.н.), а информационният източник най-често са електромерите, (2) може да се представи във вида:

$$\Delta Q = \frac{W}{T} [tg(\arccos\varphi_d) - K\varphi_n] kVAr \quad (3)$$

където

W е консумираната енергия, kWh, за период от време T , часове

$K\varphi_n$ -детерминирано число, отразяващо нормираната или възприетата стойност $\cos\varphi_n$.

$$K\varphi_n = tg(\arccos\varphi_n) \quad (4)$$

Стойностите на този коефициент, изчислен по (4) са дадени на таблица 1

Таблица 1

$\cos\varphi_n$	0,900	0,905	0,910	0,915
$K\varphi_n$	0,484	0,470	0,456	0,441

Базираната стойност е неутралния $\cos\varphi - \cos\varphi_n = 0,900$. Ако се изпадне в режим на консумация под 0,900 следват санкции, които зависят от отдалечеността спрямо тази стойност. Ето защо е целесъобразно като гранична допустима стойност да се приеме близка, по-голяма стойност, например 0,905, но според нас не повече от 0,910.

От така изчислената ненужна прекомпенсираща мощност ΔQ , може да се определи преразхода на активна мощност за нейната генерация от синхронните двигатели.

$$\Delta P = a\Delta Q, kW \quad (5)$$

където:

a е коефициент, характеризиращ необходимата активна мощност от СД за генерация на 1kVAr, kW / kVAr.

В литературата се посочва диапазон от стойности за a в диапазон от 0,09 до 0005kW / kVAr [1]. В Асарел Медет бе проведено експериментално определение на този параметър на синхронни двигатели с мощност 1,6MW и 2,5MW. Като резултат бе получена средна стойност за $a = 0,03KW / kVAr$.

Спестената (или ненужно консумирана) активна енергия за година е:

$$\Delta W = \Delta P_{zod} \cdot T_{zod} = a\Delta Q_{zod} \cdot T_{zod} \quad (6)$$

където

ΔQ_{zod} е изчислената средна за годината прекомпенсиращи мощности, на базата на средния за годината $\cos\varphi_d$.

T_{zod} - времето за работа в часове за годината

ΔP_{zod} - изразходваната средна за годината активна мощност за генериране на прекомпенсиращата реактивна мощност ΔQ_{zod} .

За практически изчисления уравнение (3) може да се представи във вида:

$$\Delta Q = \frac{W}{T} A$$

където

$$A = [tg\varphi_d \cos\varphi_d - tg\varphi_n \cos\varphi_n] = [tg\varphi_d \cos\varphi_d - K\varphi_n] \quad (7)$$

Изчисленията за параметъра A са дадени на табл. 2, в която са въведени диапазони за $\cos\varphi_d \in (0,92 \div 0,96)$ и $\cos\varphi_n \in (0,90 \div 0,92)$.

Таблица 2

$\cos\varphi_n$	A, при $\cos\varphi_d$				
	0,920	0,925	0,930	0,935	0,940
0,900	0,058	0,073	0,089	0,105	0,121
0,905	0,044	0,059	0,075	0,091	0,107
0,910	0,030	0,045	0,061	0,077	0,093
0,915	0,015	0,030	0,046	0,062	0,078
0,920	0	0,015	0,031	0,047	0,063

$\cos\varphi_n$	A, при $\cos\varphi_d$			
	0,945	0,950	0,955	0,960
0,900	0,138	0,155	0,174	0,192
0,905	0,124	0,141	0,160	0,178
0,910	0,110	0,127	0,146	0,164
0,915	0,095	0,112	0,131	0,149
0,920	0,080	0,097	0,116	0,134

Пример: да се определи, с колко може да се намали компенсиращата мощност ΔQ в kVA, както и спестената активна мощност и ел.енергия за годината за минно предприятие с годишна консумация на енергия $W = 280\text{GWh}$ и среден за годината $\cos\varphi_d = 0.94$, при непрекъснатата работа в годината ($T = 8760$ часа/год).

Приемаме за гранична стойност $\cos\varphi_n = 0.905$. От таблица 1 и 2 се определят параметрите

$$K\varphi_n = 0.470; \quad A = 0.107$$

Изчислява се излишната реактивна компенсираща мощност

$$\Delta Q = \frac{W_a}{T_{год}} \cdot A = \frac{280 \cdot 10^6}{8760} \cdot 0.107 = 3420 \text{ kVA}$$

Спестената активна мощност е

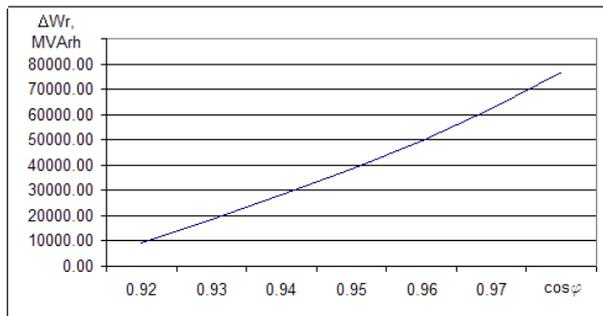
$$\Delta P = a\Delta Q = 0.03 \cdot 3420 = 102.6 \text{ kW}$$

А спестената годишна енергия е

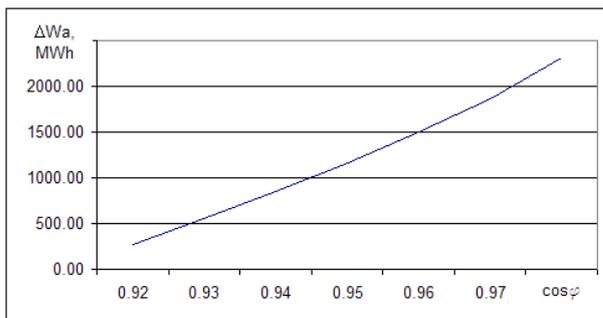
$$\Delta W = \Delta P \cdot 8760 = 102.6 \cdot 8760 = 898\,800 \text{ kWh}$$

Левовата равностойност при пазарни цени на спестената ел.енергия е приблизително 56 000лв., а при регулирани цени – приблизително 70 000лв.

По Методиката, приложена за Асарел Медет, са построени кривите за определяне на годишната прекомпенсиращата реактивна енергия ΔW_r (фиг.1) и на необходимата активна енергия ΔW_a за нейното създаване (фиг.2), във функция от средната стойност на $\cos\varphi_d$.

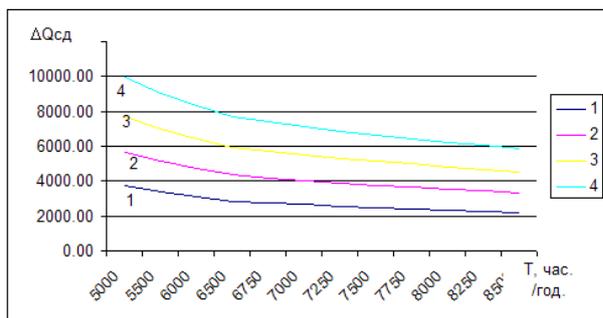


Фиг.1



Фиг.2

От фиг. 3 може да се определи прекомпенсиращата реактивна мощност ΔQ , която може да се спести в зависимост от средната стойност на $\cos\varphi_d$ и работните часове за година T .



Фиг.3

Предложената методика може да представлява основа на алгоритъм за програма, която прогнозира и предлага (съветва) необходимата корекция в генерацията на реактивна мощност насочена към осигуряване на $\cos\varphi_d \approx \cos\varphi_n$.

Основните принципи, които трябва да се заложат в този алгоритъм са:

- Определяне на средните стойности на $\cos\varphi_d$ по зони: във върховете и в дневната, почасово, за деня, за седмицата, за месеца.
- Определяне на интегралната моментна стойност на $\cos\varphi$ – от началото на месеца, до момента, също по зони.
- Определяне на интегрално необходимата компенсираща мощност kVA: с положителен знак, когато трябва да се произведе допълнително, по критерия $\cos\varphi_d^{cp} \approx \cos\varphi_n^{cp}$, и с отрицателен знак, когато трябва да се намали

- Въвеждане и прогнозираща функция за $\cos \varphi_d$, свързана с консумираната мощност, респективно енергия, която може да стесни диапазона на регулиране и намали амплитудните стойности на компенсиращата мощност.
- Определяне приоритета в промените по отношение на синхронните машини. Основен критерий е естествено е условията за устойчива работа като задвижване. Трябва да отчетат възможностите и удобствата за реализация на стъпално или плавно регулиране на възбудането. И не на последно място показателят a , т.е. необходимата мощност $kW / kWAg$, който е различен за различните конструкции и параметри на синхронните машини.

И накрая сравнително лесно може да се получи информация за ефекта от оптимизацията на компенсацията, както по отношение на активната ел. енергия (спестена или консумирана) така и на левовата и равностойност.

„Решенията“ на системата трябва да придобият вид на съвети към диспечера за активни действия. Тези препоръки се променят във времето и момента на въздействие (промяна). Трябва да се съобрази с практическата възможност да се изпълни необходимата

корекция. Това може да се прецени и без и с участие на човека.

При компенсиране на реактивните товари с кондензаторни батерии, годишните икономии ще бъдат по-малки, но биха довели до ограничени инвестиции и по-малък брой дефектирани кондензатори, ако приемем, че той е пропорционален на броя на работещите.

Предложената методика е приложима за всички предприятия, където компенсацията на реактивните товари се осъществява с капацитивна енергия от работещи синхронни двигатели.

Тя може да бъде и елемент при оптимизацията на компенсацията на реактивните товари с хибридни системи от синхронни двигатели и кондензаторни батерии.

Литература

- Данков, Е.Е., Електроснабдяване на минните предприятия. С., Техника, 1991.
- Федоров, А.А., В.В.Каменова. Основы электроснабжения промышленных предприятий М., Энергоатомиздат, 1984
- Доклад за обследване на енергийната ефективност на Асарел Медет АД. Реф.№ М462. Архив на СМС-С ЕООД, 2007.

Препоръчана за публикуване от
Катедра “Електрификация на минното производство”, МЕМФ