

**ОПРЕДЕЛЯНЕ СТОЙНОСТТА НА ДОПЪЛНИТЕЛНИТЕ АКТИВНИ
ЗАГУБИ НА МОЩНОСТ ПРИ ПРЕНАСЯНЕ НА РЕАКТИВНА
ЕНЕРГИЯ****Илиян Илиев¹, Николай Лаков¹, Десислава Делчева¹, Росен Йорданов¹**¹Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“**DETERMINING THE VALUE OF ADDITIONAL ACTIVE POWER
LOSSES WHEN TRANSFERRING REACTIVE ENERGY****Ilian Iliev¹, Nikolay Lakov¹, Desislava Delcheva¹, Rosen Yordanov¹**¹University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”**Abstract**

Determining the value of additional active power losses when carrying a reactive load is of great economic importance for the electric power industry. In the electrical power systems of industrial sites, the solution of this task is related to the optimization of energy processes and circuit solutions. This issue should be solved for each industrial enterprise already at the design stage.

Keywords: active power losses, electrical power systems, economic importance, optimization

ВЪВЕДЕНИЕ

Определянето на стойността на допълнителните активни загуби на мощност при пренасяне на реактивен товар е от голямо икономическо значение за електроенергетиката. В електроенергийните системи на промишлените обекти решаването на тази задача е свързано с оптимизирането на енергетичните процеси и схемните решения имат два съществени недостатъка: генериране на висши хармоници и потребление на реактивна мощност [1].

ИЗЛОЖЕНИЕ

За компенсиране на активните загуби на мощност в електроенергийната система (ЕЕС) при пренасяне на реактивен товар е необходимо да се изградят допълнителни генериращи мощности или разширят съществуващите, като относителните разходи за тях се характеризират с коефициента γ [лв./kW].

Стойността на тези разходи $C_{\Delta P}$ се определя от израза:

$$C_{\Delta P} = \gamma \Delta P_M [\text{лв.}] \quad (1)$$

където:

ΔP_M – максимални загуби на мощност от реактивен товар в разглеждания обект на ЕЕС, [kW].

Коефициентът γ е основен фактор, тъй като разширяването на съществуващите и създаване на нови генериращи мощности, необходими за покриване на активните загуби при пренасяне на реактивен товар, изисква сериозни капиталовложения [9]. По същество изграждането на мощни енергетични съоръжения като ТЕЦ, ВЕЦ, подстанции и др., представлява най – значим за икономиката на страната инвестиционен процес. [5] Всеки отрасъл от промишлеността и всеки промишлен обект има различен

дъл и теглово влияние върху загубите на активна мощност от реактивен товар и следователно стойностите на γ ще бъдат различни за различните обекти и отрасли [7]. Той може да се оцени за всяко едно промишлено предприятие, като се определи средногодишния реактивен товар за предприятието $Q_{\text{ср.г}}$, неговата отдалеченост от генерация източник и оттам икономическият еквивалент на реактивна мощност K_e [kVAr/kW]. На базата на $Q_{\text{ср.г}}$ и K_e се определят загубите на активна мощност от пренасяне на реактивен товар ΔP_p , динамично изменящи се в зависимост от коефициента на реактивно натоварване m и коефициента на формата на реактивния товар $K_{\text{фр}}$ на обекта. [4] Тези загуби се остоявяват в зависимост от средната стойност на най-близко базираните генериращи източници, като се приложи икономическата методика „полза–разходи“, или се използва класическия критерий минимум на приведените годишни разходи[8].

Факторите които оказват влияние върху γ са следните:

- коефициент на формата на товаровия график (ТГ) на реактивния товар $K_{\text{фр}}$;
- нивото на компенсация на реактивните товари или наситеността с компенсиращи устройства $N=Q_k/P_M$, където P_M е максимално продължителния товар на разглеждания обект;
- коефициент на използване на реактивна мощност $K_{\text{ир}}$.

Коефициент на формата ($K_{\text{фр}}$) на ТГ на реактивния товар се определя с помощта на израза:

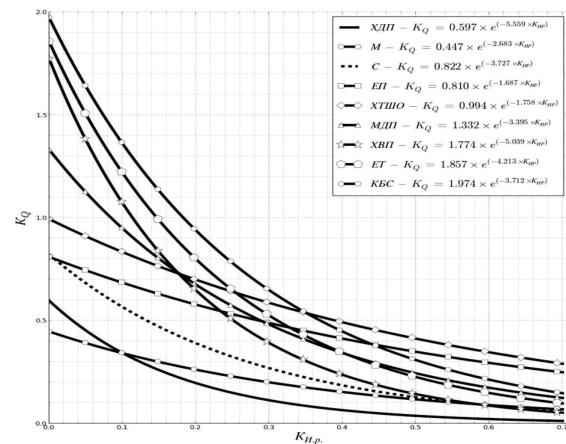
$$K_{\text{фр}} = \frac{Q_{\text{ср.кв.}}}{Q_{\text{ср.}}} = \sqrt{1 + \frac{\sigma_Q^2}{Q_{\text{ср.}}^2}} = \sqrt{1 + K_Q^2} \quad (2)$$

където:

$Q_{\text{ср.кв}}$ и $Q_{\text{ср}}$ – средноквадратичен и среден реактивен товар;

$K_Q = \sigma_Q / Q_{\text{ср}}$ – коефициент на вариация на реактивния товар;

σ_Q – средноквадратично отклонение на реактивния товар.



Фиг. 1. Експериментални зависимости и математически модели (ММ) на функцията $K_Q=f(K_{\text{ир}})$

Експерименталните изследвания показват, че коефициента на вариация е обратно пропорционален на коефициента на използване по реактивна мощност $K_{\text{ир}}=Q_{\text{ср}}/Q_n$. На фиг. 1 са показани експериментално установените криви за различни отрасли на зависимостите $K_Q=f(K_{\text{ир}})$. Апроксимиращата функция на тези зависимости се представя с помощта на аналитичния израз:

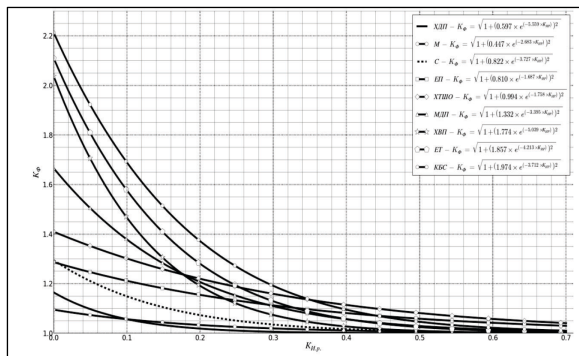
$$K_Q = a_0 \cdot e^{-a_1 \cdot K_{\text{ир}}} \quad (3)$$

където:

a_0 и a_1 са коефициенти, определени по метода на най-малките квадрати с помощта на модула `lmfit` към интерпретаторния език за програмиране Python и представени в ММ на същата фигура.

От фиг. 2 става ясно, че по полегатите криви съответстват на отраслите от тежката индустрия, а отраслите от лека-та индустрия и комунално битовия сектор (КБС) се характеризират с по-стръмни криви. [6]

Производните зависимости $K_{\text{фр}}=f(K_{\text{ир}})$ са представени на фиг. 2 и чрез тях може да се определи стойността на $K_{\text{фр}}$ в зависимост от $K_{\text{ир}}$.



Фиг. 2. Експериментално получени зависимости $K_{FR} = f(K_{LR})$

Направени са изследвания в над 900 обекта от промишлеността и КБС в страната са дали възможност да се установи, че средногодишния $\cos\varphi_{ср.г.}=0,87\div 0,91$ и може да се приеме $\text{tg}\varphi_{ср.г.}=0,51$. Загубите на активна мощност в ЕЕС се определят от изразите:

$$\Delta P_a = \frac{P^2}{U^2} \cdot R \quad (4)$$

$$\Delta P_a = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2(1 + \text{tg}^2\varphi)}{U^2} \cdot R \quad (5)$$

където:

ΔP_a – загуби на активна мощност само от активния товар P [MW];

ΔP_p – загуби на активна мощност, предизвикани от P и от реактивния товар Q , [MW].

Пренасянето на реактивен товар в ЕЕС води до допълнителни загуби, определяни чрез коефициента на допълнителни загуби K_d [2]:

$$K_d = \frac{\Delta P_p - \Delta P_a}{\Delta P_a} \cdot 100 = \text{tg}^2\varphi \cdot 100 \quad (6)$$

При $\text{tg}\varphi_{ср.г.}=0,51$, пренасяната реактивна мощност увеличава с $K_d=0,51^2 \cdot 100=26\%$ загубите на активна мощност общо за ЕЕС.

В съответствие със структурата на разпределение на товара (табл.1), за промишлеността, битовия сектор и уличното осветление, които имат основен дял в трансфера на реактивна мощност, общият процент на товара в страната е около 86,3%. Отнесено към сред-

ния годишен товар за 2022 г., който се получава като средна стойност на месечните товари за страната и възлиза на 3575 MW, това прави $86,3\% \cdot 3575 = 3085,2$ MW.

Табл. 1. Структура на товара в Република България

Промишленост (лека и тежка индустрия)	49.20%
Бит	36.10%
Обществени, държавни и публични предприятия	10.70%
Селско стопанство	3%
Улично осветление	1%

Общите загуби на мощност при пренасяне на активен и реактивен товар в страната възлизат на около 11% (без отчитане на допълнителните загуби от влошени показатели на качеството на електрическа енергия)[3]. Следователно необходимата генерираща мощност, която трябва допълнително да се инсталира за да се покрият общите загуби на активна мощност ще бъдат $0,11 \cdot 3085,2 = 339,4$ MW. При относителен дял на реактивния товар в тези загуби 26%, в абсолютни единици това прави $0,26 \cdot 339,4 = 88,2$ MW. Следователно само за покриване на активните загуби на мощност в ЕЕС на страната, предизвикани от пренасяне на реактивен товар, ще бъде необходимо да се изградят допълнително генериращи мощности 88,2 MW.

Стойността на инвестицията за изграждане на 1 MW генерираща мощност от ТЕЦ или КЕЦ може да се определи, като се вземе предвид стойността на котела, турбината (парна или газова), генераторите, помпената система, електрофилтри, отоплителни и вентилационни системи и др., а също цялостната инфраструктура, състояща се от подстанции, разпределителни уредби, електрически мрежи, собствени нужди и др. [10]

Ориентировъчните стойности за подобни инвестиции зависи от различни фактори и е в граници $I_i=(1,2\div 2)$ млн.лв/MW.

Ако се приеме че $I_r=1,5$ млн.лв/MW се получава, че за покриване на загубите на активна мощност ще са необходими около $1,5 \cdot 88,2 \approx 132,4$ млн.лв. Тъй като в покриването на тези загуби участват и по скъпите като инвестиция АЕЦ, ВЕИ и ВЕЦ може да се регламентира и утвърди за най-приемлива и достоверна инвестиция за покриване на загубите на активна мощност в страната стойността $I_r=160$ млн.лв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мощните предприятия от тежката индустрия предизвикват по-големи загуби на мощност от реактивни товари и изискват изграждане на по-малки генериращи съоръжения с по-големи относителни инвестиции за покриване на тези загуби. От друга страна, маломощните промишлени обекти и КБС обуславят загуби на мощност от реактивен товар, регистрирани на най – ниско ниво и нагоре по цялата верига от звена на ЕЕС. Освен това в болшинството от случаите изграждането на компенсиращи мощности може да се осъществи чрез разширение и реконструкция на съществуващите захранващи източници. Това е напълно обосновано и препоръчително особено в случаите на непълно натоварване на енергийните съоръжения, което се наблюдава в ЕЕС на страната през последните двадесет години, характеризирани се с режим на понижена комутация.

REFERENCE

- [1]Vassilev N. N., S. T. Siderov, Electricity Supply of Industrial Enterprises, Technical, Sofia, 1991.
- [2]Kirov R. M. et al., Reactive Load Compensation an Effective Way to Save EE, Energy Forum, Proceedings, 2006.
- [3]Vrongov A., On the technical unreasonableness of the payment of the reactive energy given by the consumers, Energetika, 2007, no. 6÷7.
- [4]Gyurov V. N., Rationalization of reactive loads compensation in conditions of asymmetrical and non-sinusoidal modes in power supply systems, Dissertation, Varna, 2010.
- [5]Kirov R., Iliev I. , Electric Power Efficiency. II edition, 2017, Varna ENA Ltd.
- [6]Dzhustrov K., N. Haralambiev, Electrical losses in the electricity distribution networks when connecting new generator power, Journal of mining and geological sciences, volume 63, 2020, p. 142-145
- [7]Dzhustrov K., Optimal compensation of reactive loads by synchronous motors, Energy Forum, 2019, pp. 243-249, ISSN 2367-6728.
- [8]Dzhustrov K., I. Stoilov, Defining the specific losses of active power in synchronous electric motors for the generation of reactive power, JOURNAL OF MINING AND GEOLOGICAL SCIENCES, Vol. 60, Part III, Mechanization, electrification and automation in mines, 2017, p. 55-58
- [9]Stoilov Iv., K. Dzhustrov, A. Trapov, M. Menteshhev. Control and management of electricity costs of a privileged consumer of NEK. "Mining and Geology, 2004, No. 5, 26-29.
- [10]Stoilov Iv., K. Dzhustrov. Higher harmonics in networks with powerful valve converters. Year. of MSU "St. Ivan Rilski" vol. 53, p. 121-124. C. , 2010.