

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КОМПЕНСИРАЩАТА СПОСОБНОСТ НА СИНХРОННИ ДВИГАТЕЛИ С ОТЧИТАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА НАПРЕЖЕНИЕТО НА ЗАХРАНВАЩАТА МРЕЖА

Николай Минеков<sup>1</sup>, Румен Исталиянов<sup>2</sup>, Илия Йочев<sup>3</sup>, Иван Проданов<sup>4</sup>, Йоана Младенова<sup>2</sup>, Николай Лаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> „Асарел - Медет“ АД, гр. Панагюрище

<sup>2</sup> Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail [rgi@mgu.bg](mailto:rgi@mgu.bg)

<sup>3</sup> „Рудметал“ АД, гр. Рудозем

<sup>4</sup> „ЕН ЕМ КО“ ЕООД, гр. София

**РЕЗЮМЕ.** Изследвано е влиянието на напрежението на захранващата мрежа върху компенсиращата способност на синхронните двигатели.  
**Ключови думи:** Изследване, синхронни двигатели, компенсираща способност

DETERMINATION OF THE COMPENSATORY ABILITY OF SYNCHRONOUS ENGINES TAKING INTO CONSIDERATION THE INFLUENCE OF THE VOLTAGE ON THE ELECTRICAL POWER SUPPLY NETWORK

Nikolai Minekov<sup>1</sup>, Rumen Istalianov<sup>2</sup>, Ilija Jochev<sup>3</sup>, Ivan Prodanov<sup>4</sup>, Ioana Mladenova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> „Asarel-Medet“ AD, Panaguriste

<sup>2</sup> University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail [rgi@mgu.bg](mailto:rgi@mgu.bg)

<sup>3</sup> „Rudmetal“ AD, Rudozem

<sup>4</sup> „EN EM KO“ EOOD, .Sofia

ABSTRACT. The publication contains research about the influence of the voltage of the electrical power supply network on the compensatory ability of the synchronous engines.

KEY WORDS: voltage, electrical power supply network, compensatory ability, synchronous engines

### Въведение

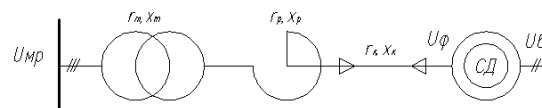
Един от пътищата за повишаване енергийната ефективност на редица промишлени предприятия в минната промишленост е свързан с оптимизацията на работата на синхронните двигатели (СД).

Използването на компенсиращата способност на синхронните двигатели с отчитане на техния режим на работа, стойността на възбудителния ток и напрежението на захранващата мрежа представлява актуална задача за решаване на съвременната електроенергетика.

В [1] е изследвана задачата за определяне влиянието на напрежението на захранващата мрежа върху загубите на електрическа енергия в СД. В този доклад ще се изследва задачата за определяне компенсиращата способност на СД с отчитане влиянието на напрежението на захранващата мрежа.

### Математичен модел

Точното определяне на компенсиращата способност на СД е възможно при отчитането на спада на напрежение в захранващата мрежа (понижаващ трансформатор, токоограничаващ реактор), както е показано на фиг. 1



Фиг.1. Типова схема за включване на синхронни двигатели СД.

На фиг. 1 са приети следните означения:  $U_{MP}$ ,  $U_\phi$ ,  $U_B$  - напрежение на захранващата мрежа, текуща стойност на клемите надвигателя и напрежение на възбудане;  $G_k$ ,  $X_k$  - активно и реактивно съпротивление на захранващия кабел.

В [2] е предложена формула за определяне зависимостта между реактивната мощност на СД и напрежението на клемите на двигателя, възбудителния ток и статичния товар на двигателя:

$$Q_{сд} = \frac{3U_{\phi H} I_{\phi H}}{x_d} \left( \sqrt{\frac{i_a^2 - i_0^2}{i_0^2}} - \gamma \right) \quad (1)$$

където  $U_{\phi H}$ ,  $I_{\phi H}$  - съответно номинална стойност на фазното напрежение и ток на двигателя;

$$\beta = \frac{P}{P_H} = \frac{I_a}{I_{aH}} - \text{относително натоварване на статора по}$$

активна мощност;

$$\gamma = \frac{U}{U_{\phi H}} - \text{относителната стойност на напрежението на}$$

клемите на двигателя;

$i_a$  - възбудителния ток на СД ;

$$i_{в.а.н} = \sqrt{i_{в.н}^2 - i_0^2 (1 + x_d \sin \varphi_H)^2} ;$$

$i_{в.а.н}$  - възбудителния ток на СД при  $I_a = I_{aH}$  ;

$i_{в.н}$  - номинален възбудителен ток на синхронния двигател;

$x_d$  - реактивно съпротивление на синхронния двигател по надлъжната ос, о.е.;

$i_0$  - ток на възбуждане при празен ход на СД и номинално напрежение на статорните намотки.

Във формулата не се отчита съпротивлението на захранващата мрежа.

Относителната стойност на напрежението на клемите на СД се определя от израза:

$$\gamma = \frac{U}{U_{\phi H}} = \frac{U_{\phi H} - \Delta U_{\phi}}{U_{\phi H}} = 1 - \frac{\Delta U_{\phi}}{U_{\phi H}}, \quad (2)$$

където  $\Delta U_{\phi H}$  - загуба на напрежение в захранващата мрежа.

Тъй като напрежението в захранващия възел зависи от активната и реактивната мощност, то загубата на напрежението се определя по формулата:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{P r_{\Sigma} + Q x_{\Sigma}}{3U_{\phi}}, \quad (3)$$

където  $P$  и  $Q$  - активна и реактивна мощност на товара;  $r_{\Sigma}$  и  $x_{\Sigma}$  - еквивалентно активно и реактивно съпротивление на захранващата мрежа;

$$r_{\Sigma} = r_T + r_K ;$$

$$x_{\Sigma} = x_T + x_p + x_K .$$

Тъй като в реалните електрически мрежи се изпълнява условието  $r_{\Sigma} \ll x_{\Sigma}$ , то изразът (3) приема следния вид:

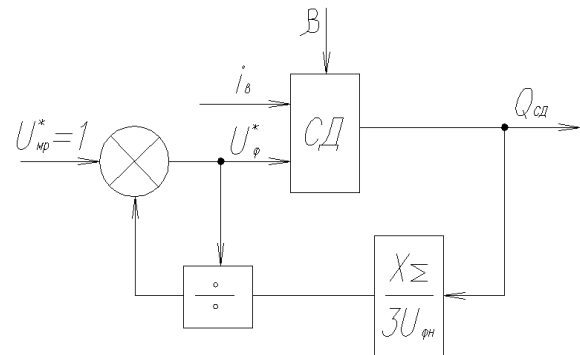
$$\Delta U_{\phi} \approx \frac{Q x_{\Sigma}}{3U_{\phi}} . \quad (4)$$

След заместването на (4) в израз (2) окончателно се получава израза за определяне на относителната стойност на напрежението на клемите на двигателя:

$$\gamma \approx 1 \pm \frac{Q x_{\Sigma}}{3U_{\phi} U_{\phi H}} . \quad (5)$$

Знакът (+) в израз (5) съответства на режим на превъзбуждане (двигателят генерира реактивна мощност в електрическата мрежа), а знакът (-) съответства на режим недовъзбуждане (двигателят консумира от електрическата мрежа реактивна мощност).

Както се вижда от израз (1) за определянето на  $\gamma$  е необходимо да се знае реактивната мощност, генерирана от СД ( $Q_{сд}$ ), която на свой ред зависи от  $\gamma$ . Тази задача е възможно да бъде решена или чрез метода на последователните приближения (метод на итерациите), или чрез моделиране по структурната схема на СД, съставена с използването на уравненията (1) и (5).



Фиг.2. Структурна схема на синхронен двигател с отчитане на реактивното съпротивление на двигателя.

С помощта на представената структурна схема е проведено изчисляване на зависимостта на реактивната мощност, която се генерира от СД от възбудителния ток  $Q = f(i_a)$  при различни стойности на коефициента  $\beta$  и с отчитане на реактивното съпротивление на захранващата мрежа за два типа характерни двигателя:

1. СТД – 10000-2 (високооборотен двигател);
2. ДСЗ-5000-16 (нискооборотен двигател).

Параметрите на двигателите са представени в следната таблица № 1.

Таблица № 1.

Параметри на синхронни двигатели тип СТД – 10000-2 и ДСЗ-5000-16

параметри на двигателя	СТД – 10000-2	ДСЗ-5000-16
$P_H$ , kW	10 000	5 000
$U_H$ , kV	10	10
$I_H$ , A	658	331,5
$\cos \varphi_H$	0,9	0,9
$n$ , об / мин	3 000	375
$i_{в.н.}$ , A	259,1	276
$i_{в.о.}$ , A	102,9	150
$x_{\alpha}$ , о.е.	2,1886	0,974

## Изводи

От получените резултати следва следва извода, че при намаляване твърдостта на характеристиката на захранващата мрежа (увеличаване стойността на  $X_s^*$ ) стойността на разполагаемата реактивна мощност на двигателя се намалява в границите на (5÷ 25%). Следователно, компенсиращата способност на двигателя се намалява. Този факт трябва да се отчита при изготвянето на баланса на реактивната мощност в захранващ възел при наличието на синхронни двигатели.

*Препоръчана за публикуване от катедра  
„Електрификация на минното производство“, МЕМФ*

## Литература

- Кърцелин Е.Р. и др., Изследване влиянието на напрежението върху загубите на електрическа енергия в синхронни електродвигатели, Год. на МГУ „Св. Ив. Рилски“, Том 52, св. III, 2009 г., стр. 87-90.
- Першин Ю.С. и др., Расчет оптимального режима работы синхронного двигателя, Электричество, 1981, №9, с. 30-30.
- Петелин Д.П., Динамика синхронного привода поршевых компрессорных установок, М., Машиностроение, 1976.