

УДК 621.371:621.311.4

ПРО ЕКОНОМІЧНІСТЬ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ ЯК ПРИСТРОЇВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СПОЖИВАЧІВ

О. І. Дорошенко, І. В. Медюк

Одеський національний політехнічний університет
просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна. E-mail: dai1938@yandex.ua

Доведено, що синхронні двигуни ні технічно, ні економічно недоцільно застосовувати в системах електропостачання споживачів електроенергії як пристроїв для компенсації реактивного навантаження. Їх питомі активні втрати за номінальної напруги 6 кВ перебільшують такі втрати в конденсаторних установках відповідної напруги в 166 разів. У роботі наводиться приклад таких розрахунків.

Ключові слова: синхронний двигун, реактивне навантаження, компенсація реактивного навантаження.

ОБ ЭКОНОМИЧНОСТИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ КАК УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

А. И. Дорошенко, И. В. Медюк

Одесский национальный политехнический университет
просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина. E-mail: dai1938@yandex.ua

Доказано, что синхронные двигатели ни технически, ни экономически целесообразно применять в системах электроснабжения в качестве устройств для компенсации реактивной нагрузки. Их удельные активные потери при номинальном напряжении 6 кВ превышают такие потери в конденсаторных установках соответствующего напряжения в 166 раз. В работе приводится пример таких расчетов.

Ключевые слова: синхронный двигатель, реактивная нагрузка, компенсация реактивной нагрузки.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Відомо, що синхронні двигуни (СД) у системах електропостачання (СЕР) споживачів працюють з випереджаючим коефіцієнтом потужності ($\cos \varphi = -0,9$). Тобто, їх можна використовувати для компенсації реактивного навантаження таких СЕР. При цьому, зважаючи на [1], складається враження про те, що вони для споживача є безкоштовними джерелами "реактивної електроенергії". Метою роботи є дослідження доцільності застосування СД (за його наявності у конкретного споживача) як безкоштовного компенсатора реактивного навантаження його СЕР та запропонування можливого режиму управління його реактивною потужністю.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. На рис. 1,а наведено можливу схему живлення СД, що застосовує споживач за технологією виробництва, від системної підстанції ПС-110/6 кВ, а в табл. 1 – його номінальні параметри.

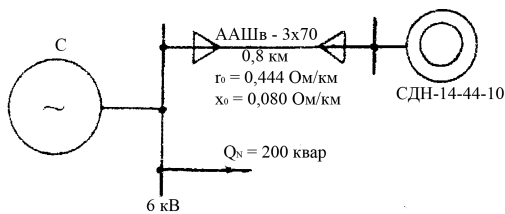


Рисунок 1 – Принципова схема живлення СД

Таблиця 1 – Номінальні параметри СД

Напруга	U _{НОМ} , кВ	6,0
Швидкість	N _{НОМ} , 1/хв.	600,0
Потужність:	P _{НОМ} , кВт	630,0
	Q _{НОМ} , квар	325,0
	cosφ _{НОМ} , в.о.	-0,90
Коефіцієнт	A, кВт	5,60
Коефіцієнт	B, кВт	4,06

На рис. 2,а наведено кутову характеристику СД, а на рис. 2,б – його векторну діаграму.

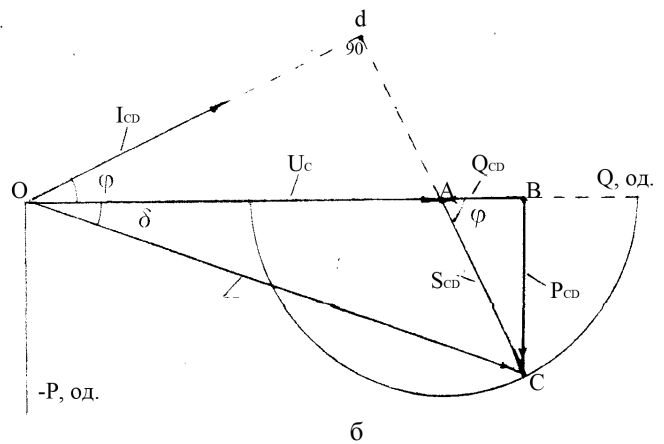
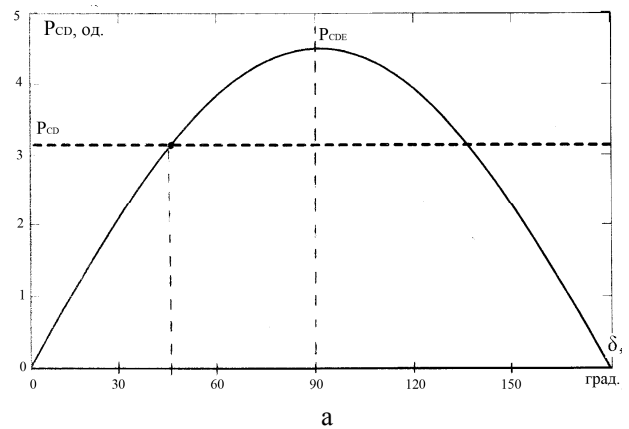


Рисунок 2 – Реально-математична модель СД: а) кутова характеристика; б) векторна діаграма

Як відомо, активна електромагнітна потужність СД визначається за виразом, кВт:

$$P_{CDE} = \frac{E_{CD}U_C}{X_{\Sigma}} \sin \delta \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де E_{CD} – електрорушійна сила (ЕРС) синхронного двигуна, кВ; U_C – напруга електроенергетичної системи (ЕЕС), кВ; X_{Σ} – загальний реактивний опір схеми електропередачі, Ом; δ – кут між векторами E_{CD} і U_C .

Якщо обидві частини (1) розділити на номінальну потужність двигуна $P_{CD.NOM}$, то можна одержати

$$\frac{P_{CD}}{P_{CD.NOM}} = P_{CD}^* = E_{CD}^* \sin \delta = \beta_{CD}, \quad (2)$$

звідки

$$E_{CD} = \frac{\beta_{CD}}{\sin \delta}, \quad (3)$$

де β_{CD} – коефіцієнт навантаження СД активною потужністю.

З ΔABC можна визначити

$$AB = BC \operatorname{tg} \varphi = P_{CD} \operatorname{tg} \varphi = \beta_{CD} \operatorname{tg} \varphi = Q_{CD}, \text{ в.о.} \quad (4)$$

Як можна бачити з ΔOBC ,

$$OB = U_C + \beta_{CD} \operatorname{tg} \varphi, \text{ в.о.}$$

або

$$U_C + \beta_{CD} \operatorname{tg} \varphi = \beta_{CD} \operatorname{ctg} \delta, \text{ в.о.}$$

Як доведено в [2],

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I}{\operatorname{ctg} \delta} = \frac{\beta_{CD}}{I + \beta_{CD} \operatorname{tg} \varphi}. \quad (5)$$

При цьому кут зсуву фаз між E_{CD} та U_C можна визначити за виразом

$$\delta = \arctg \left(\frac{\beta_{CD}}{I + \beta_{CD} \operatorname{tg} \varphi} \right). \quad (6)$$

Активні втрати в СД від його реактивного навантаження визначаються за відомим співвідношенням

$$\Delta P_{CD} = A \frac{Q_{CD}}{Q_{CD.NOM}} + B \frac{Q_{CD}^2}{Q_{CD.NOM}^2}, \quad (7)$$

де A , B – номінальні параметри СД, що характеризують його активні втрати за реактивної потужності в нормальних умовах (з випереджаючим струмом провідності статора) та наводяться в каталогах на синхронні двигуни, наприклад, в [1], кВт.

Якщо реактивне розрахункове навантаження СЕП споживача, принципову схему якої надано на рис. 1, складає $Q_N = 200$ квар, то активні втрати без застосування компенсації складають

$$\begin{aligned} \Delta P_Q &= \frac{Q_N^2}{U^2} R_E \cdot 10^{-3} = \\ &= \frac{200^2}{6^2} \cdot 0,443 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,394 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Якщо реактивне навантаження необхідно зкомпенсувати за рахунок СД, то його активні втрати можна визначити за виразом (5)

$$\Delta P_{CD} = 5,6 \frac{200}{325} + 4,06 \frac{200^2}{325^2} = 4,984 \text{ кВт.}$$

При цьому питомі активні втрати складають

$$\Delta p_{CD} = \frac{\Delta P_{CD}}{Q_{CD}} = \frac{4,984}{200} = 0,02492 \text{ кВт/квар.}$$

Як можна бачити, у цьому випадку величина питомих активних втрат СЕП перебільшує такі втрати в конденсаторних установках з номінальною напругою 6 кВ у

$$K = \frac{\Delta p_{CD}}{\Delta p_{KV}} = \frac{0,02492}{0,00015} = 166,1 \text{ разів,}$$

де Δp_{KV} – питомі активні втрати в конденсаторах з номінальною напругою 6 кВ, які за даними [3], приймаються на рівні $\Delta p_{KV} = 0,00015$ кВт/квар.

Незважаючи на те, що E_{CD} значно перебільшує U_C , добавка напруги від застосування для компенсації реактивного навантаження споживача складає

$$\delta U_C = \frac{Q_{CD} X_C}{10 U^2} = \frac{200 \cdot 0,08 \cdot 0,8}{10 \cdot 6^2} = 0,035 \text{ \%}.$$

У табл. 2 наведено розрахунки параметрів СД з прикладу за умови зміни коефіцієнта його активного навантаження β_{CD} і незмінного номінального коефіцієнта потужності $\cos \varphi_{CD} = \cos \varphi_{NOM}$.

У табл. 3 наведено аналогічні розрахунки за умови зміни коефіцієнта його потужності $\cos \varphi_{CD}$ і постійного коефіцієнта активного навантаження $\beta_{CD} = 0,85$ в.о. У табл. 2 наведено питомі активні втрати в СД за умови $\cos \varphi_{CD} = \cos \varphi_{NOM}$.

Таблиця 2 – Питомі активні втрати в СД за умови $\cos \varphi_{CD} = \cos \varphi_{NOM} = \text{const}$ в.о.

Коефіцієнт β_{CDA} , в.о.	0,85	0,80	0,70	0,60	0,50
P_{CD} , кВт	535,0	504,0	441,0	378,0	315,0
Q_{CD} , квар	259,0	244,0	213,0	183,0	152,0
S_{CD} , кВА	594,0	560,0	490,0	420,0	350,0
α_M , в.о.	0,838	0,790	0,691	0,592	0,494
δ , град.	31,1	30,0	27,6	24,9	21,9
E_{CD} в.о.	1,646	1,600	1,511	1,425	1,340
ΔP_{CD} , кВт	7,041	6,493	5,414	4,440	3,507
Δp_{CD} , кВт/квар	0,02718	0,02661	0,02542	0,02426	0,02307

Таблиця 3 – Питомі активні втрат в СД за умови $\beta_{CDA} = 0,85 = const$ в.о.

$\cos\varphi_{CDA}$, в.о.	-0,90	-0,92	-0,95	-0,97	-0,99
$tg\varphi_{CD}$, в.о.	-0,484	-0,426	-0,329	-0,251	-0,142
Q_{CD} , квар	-259,0	-228,0	-176,0	-134,0	-76,0
S_{CD} , кВА	594,0	582,0	563,0	551,0	540,0
α_M , в.о.	0,838	0,821	0,794	0,777	0,762
δ , град.	31,1	32,0	33,6	35,0	37,2
E_{CD} в.о.	1,646	1,604	1,536	1,482	1,406
ΔP_{CD} , кВт	7,041	5,927	4,223	2,999	1,532
Δp_{CD} , кВт/квар	0,02718	0,02600	0,02399	0,02238	0,02016

ВИСНОВКИ. 1. Синхронні двигуни не можна вважати безкоштовними пристроями для компенсації реактивного навантаження СЕП споживачів – за рахунок системи збудження їх вартість значно перебільшує вартість асинхронних двигунів аналогічної потужності.

2. Активні втрати синхронних двигунів, які пов'язані з випереджаючим струмом їх статора, значно перебільшують такі в електричних мережах СЕП без застосування компенсації реактивного навантаження і багаторазово перебільшують питомі активні втрати в конденсаторних установках аналогічної номінальної напруги.

3. Регулювання напруги в СЕП споживачів за допомогою наявних синхронних двигунів технічно та економічно не підтверджується.

4. Якщо синхронні двигуни вимушено застосовуються для компенсації реактивного навантаження СЕП споживачів, то коефіцієнт їх потужності необхідно підтримувати на рівні $\cos\varphi_{SD} = -0,99$ в.о.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нормативний документ. Методика визначення економічно доцільних обсягів компенсації реактивної енергії, яка перетікає між електричними мережами електропередавальної організації та споживача (основного та субспоживача). – К.: Об'єднання енергетичних підприємств “Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики”, 2006. – 70 с.

2. Дорошенко О.І., Попов Д.С., Івко О.М. Щодо економічності реактивного навантаження синхронних електродвигунів // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – 2011. – № 04 (80). – С. 82–85.

3. Зубюк Ю.П. Сучасні конденсатори в системах електропостачання // Промелектро. – 2004. – № 6. – С. 53–55.

ON THE ECONOMIC EFFICIENCY OF SYNCHRONOUS MOTOR AS REACTIVE-LOAD COMPENSATION DEVICE

A. Doroshenko, I. Medyuk

Odessa National Polytechnic University

prosp. Shevchenka, 1, Odesa, 65044, Ukraine. E-Mail: dai1938@yandex.ua

It is proved that the usage of synchronous motors as reactive-load compensation devices in electric power systems is no economically nor technically efficient. Their activity loss at nominal voltage of 6 kV exceeds 166 times the capacitor installation's loss with the same voltage. The example calculation is provided in the study.

Key words: synchronous motor, reactive load, reactive-load compensation.

REFERENCES

1. Regulations document. *Methods of determination of commercially reasonable amount of reactive power compensation which flows from the power networks of electric power organizations to consumer (primary and secondary consumer)*. – K.: Union of energy enterprises “Sector reserve/investment fund of energetic development”, 2006. – 70 p. [in Ukrainian]

2. Doroshenko A.I., Popov D.C., Ivko A.M. *Economy effectiveness of reactive load in synchronous motors* // Electric and computer systems. Thematic Issue: Problems of automated electric drive. Theory and Practice. – 2011. – № 04 (80). – PP. 82–85. [in Ukrainian]

3. Zubyuk Y.P. *Modern capacitors in power systems* // Promelectro, 2004. – № 6. – P. 53–55. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 9.07.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Сінчуком О.М.