

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ СИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Метою даної роботи є критична оцінка економії на втратах електричної енергії в мережі і у споживача при компенсації реактивного навантаження за допомогою синхронних двигунів, які одночасно виконують і потрібне механічне навантаження. Цей спосіб компенсації став хрестоматійним, але з позицій енергетичної ефективності він є далеко не кращим від відомих інших способів.

У якості ЕП споживачі підприємства широко застосовують синхронні двигуни (СД), які у нормальному режимі можуть працювати з випереджаючим струмом статора. При цьому досить привабливо виглядає спроба використання СД у якості «безкоштовних джерел» реактивної електроенергії, якщо вони вже застосовуються в системі електроспоживання (СЕСП) споживачів [1].

На рис.1 наведено відому векторну діаграму роботи СД у нормальному режимі за умови, що загальний активний опір кола, яке живить машину (разом з її опором), багато менший, ніж такий же реактивний опір:

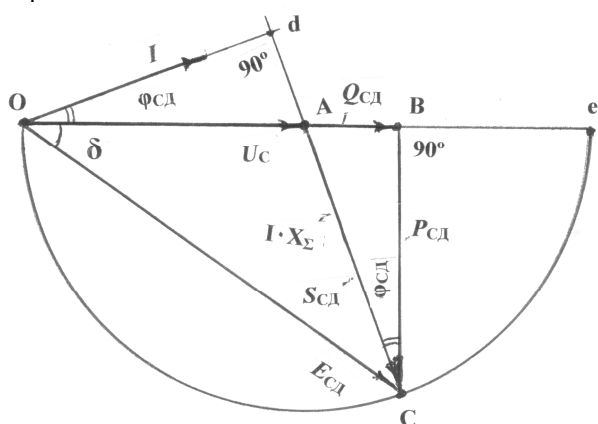


Рис.1. Векторна діаграма нормального режиму СД

$R_{\Sigma} \ll X_{\Sigma}$. Тому на рис.1 відрізок AC пропорційний повному навантаженню СД: $AC \equiv S_{cd}$; перпендикуляр СВ до лінії напруги OA (U_c) пропорційний його активному навантаженню $BC \equiv P_{cd}$; відрізок АВ – реактивному $AB \equiv Q_{cd}$; кут dOA - це кут між напругою і струмом статора двигуна ϕ , а $U_{cd} = OA + AB = E_{cd} \cos \delta$.

Тому з ΔOcd можна визначити:

$$P_{cd} = \frac{E_{cd} U_{cd}}{X_{\Sigma}} \cdot \sin \delta; \quad (1)$$

$$Q_{cd} = E_{cd} \cos \delta - U_{cd}; \quad (2)$$

$$S_{cd} = \sqrt{P_{cd}^2 + Q_{cd}^2}. \quad (3)$$

Відомо, що поточне активне навантаження СД визначається потужністю робочого механізму, а реактивне – струмом його збудження, який можна регулювати за обраним законом або критерієм. Як можна бачити з рис.1, СД «генерує» реактивну енергію, якщо кут $\delta < 45^\circ$. При цьому, з метою забезпечення статичної і динамічної стійкості таке регулювання повинно бути тільки автоматичним за умови незмінності повного навантаження СД або незмінності коефіцієнта його потужності, з можливістю його форсування.

Для першого випадку, коли $S_{cd} = S_{ном.сд} = \text{const}$, на основі (1)...(3) можна записати:

$$S_{cd}^2 = \left(\frac{E_{cd} U_{cd}}{X_{\Sigma}} \sin \delta \right)^2 + \left(E_{cd} \cos \delta - U_{cd} \right)^2, \quad (4)$$

звідки після перетворення можна одержати:

$$E_{cd} = 2 \cos \delta. \quad (5)$$

Розрахунки по (5) за умови, що струм збудження СД не повинен перебільшувати $1.3I_{ном}$ і $S_{cd} = S_{ном}$, свідчать про технічну можливість одержання від нього реактивної електроенергії при коефіцієнті активного навантаження $1 > \beta_{cd} \geq 0.4$.

У другому випадку, коли $\text{tg} \phi_{cd} = \frac{Q_{cd}}{P_{cd}} = \frac{E_{cd} \cos \delta - 1}{E_{cd} \sin \delta} = \text{const}$, після перетворення можна одержати:

$$E_{\text{сд}} = \frac{1}{\cos \delta - \sin \delta \operatorname{tg} \varphi_{\text{сд}}} \quad (6)$$

Розрахунки з використанням (6) за умови, що струм збудження СД не повинен перебільшувати $1.3I_{\text{ном}}$ і $S_{\text{сд}} \leq S_{\text{ном}}$, свідчать про технічну можливість одержувати від нього реактивну електроенергію при коефіцієнті активного навантаження $\beta_{\text{сд}} \leq 0.8$.

Як відомо, активні втрати в СД, які пов'язані з «генеруванням» реактивної електроенергії,

$$\Delta P_{\text{сд}} = D_1 \frac{Q_{\text{сд}}}{Q_{\text{ном.сд}}} + D_2 \frac{Q_{\text{сд}}^2}{Q_{\text{ном.сд}}^2}, \quad (7)$$

де D_1, D_2 - коефіцієнти, що пов'язані з генеруванням СД реактивної електроенергії.

Розглянемо приклад застосування для компенсації реактивного навантаження споживача $Q_p = 900$ квар, синхронного двигуна СДН-10 з параметрами табл.1 при еквівалентному опорі електропередачі $R_e = 0.325$ Ом;

Табл.1. Параметри двигуна СДН-10

Напруга	U _{ном} , кВ	10.0
Швидкість	N _{ном} , 1/хв.	1000.0
Потужність	P _{ном} , кВт	1250.0
	Q _{ном} , квар	645.0
	cosφ _{ном} , в.о.	-0.89
Коефіцієнт	D1, кВт	6.77
Коефіцієнт	D2, кВт	6.98

робочий час – 720 год/міс.; економічний еквівалент реактивної потужності – $D = 0.0045$ кВт/квар; вартість активної електроенергії: оптова – 0.24 грн./кВт.год; роздрібна – 0.34 грн./кВт.год.

Якщо споживач не застосує ніяких пристроїв компенсації реактивного навантаження, то активні втрати від перетікання реактивної потужності в мережі складають

$$\Delta P_{Q1} = \frac{Q_p^2}{U^2} R_e \cdot 10^{-3} = \frac{900^2}{10.5^2} \cdot 0.325 \cdot 10^{-3} = 2.388 \text{ кВт.}$$

При цьому плата за перетікання реактивної електроенергії визначається згідно до діючої методики як

$$\Pi 1 = (Q_p DC_{eo} + \Delta P_Q C_{ep}) \Gamma_B = (900 \cdot 0.0045 \cdot 0.24 + 2.388 \cdot 0.34) \cdot 720 = 1284.24 \text{ грн./міс.}$$

Якщо споживач компенсує це реактивне навантаження за допомогою синхронного двигуна, то за (7)

$$\Delta P_{\text{сд}} = 6.77 \frac{900}{645} + 6.98 \frac{900^2}{645^2} = 23.037 \text{ кВт з платою } \Pi 2 = \Delta P_{\text{сд}} T_B C_{EP} = 23.037 \cdot 720 \cdot 0.34 = 5639.46 \text{ грн./міс}$$

Другим прикладом є випадок компенсації реактивної енергії за допомогою конденсаторних батарей. Як було доведено в [2], компенсувати реактивне навантаження споживача економічно доцільно до значення Q_e , яке при питомих активних втратах в сучасних конденсаторах 10.5 кВ складають $\Delta P_{\text{кв}} = 0.00015$ кВт/квар. При

$$\text{цьому } Q_e = \frac{8.27}{R_e} = \frac{8.27}{0.325} \approx 25.0 \text{ квар, а потужність конденсаторних установок } Q_{\text{ку}} = 900 - 25 = 875 \text{ квар.}$$

Активні втрати споживача у цьому випадку визначаються як

$$\Delta P_{Q2} = \frac{Q_e^2}{U^2} R_e \cdot 10^{-3} = \frac{25^2}{10.5^2} \cdot 0.325 \cdot 10^{-3} = 0.002 \text{ кВт; } \Delta P_{\text{кв}} = \Delta P_{\text{кв}} Q_{\text{кв}} = 0.00015 \cdot 875 = 0.131 \text{ кВт.}$$

При цьому плата за реактивні перетоки з електричних мереж ЕЕС і втрати в конденсаторах складає

$$\Pi 3 = (\Delta P_{Q2} C_{eo} + \Delta P_{\text{кв}} C_{ep}) \Gamma_B = (0.002 \cdot 0.24 + 0.131 \cdot 0.34) \cdot 720 = 32.41 \text{ грн./міс.}$$

Висновок. Наведений приклад розрахунку компенсації реактивного навантаження споживача за рахунок СД показує енергетичну неефективність такого способу компенсації. При цьому програють усі ланки системи «постачальник – споживач» і держава у цілому. Замість 2.388 кВт активних втрат без застосування компенсації реактивного навантаження споживача при використанні СД для потреб такої компенсації втрати складають 23.037 кВт. Як можна бачити, плата споживача складає: без застосування компенсації 1284.24 грн./міс; з повною компенсацією за допомогою СД – 5639.46 грн./міс; з оптимальною компенсацією за допомогою конденсаторних установок – 32.41 грн./міс.

Література.

1. Щодо участі синхронних двигунів у компенсації реактивної потужності // Омельчук А.О., Козирський А.В., Трондюк В.С., Шевченко С.Г. //Промелектро. – 2005. - № 5. - С. 39 - 43.
2. Дорошенко О.І, Дорошенко С.О. Визначення потужності компенсуючих пристроїв споживачів електроненергії //Електромашинобуд. та електрооб. Міжвід. наук.-техн. зб. – 2001. Вип. 56. – С. 76 - 80.

Andriushchenko O., Doroshenko O.

Power efficiency of reactive power indemnification through synchronous engines

It is brought results over of determination of reactive power of synchronous motors, which technically it is possibly and economic expedient to get from them at their direct use in the normal mode