

С.И. Черный, А.П. Бельчицкий

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЕНСИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Экономические показатели работы горных предприятий существенно зависят от качества электроснабжения. Улучшить показатели работы электрических сетей можно за счёт повышения качества электроэнергии и уменьшения ее потерь. Потери электроэнергии в значительной степени связаны с потреблением реактивной мощности (РМ). Уменьшение перетоков реактивной электроэнергии за счет компенсации РМ позволяет снизить в электрических сетях до 30 % нагрузочных потерь электроэнергии [1]. Один из источников РМ – синхронные двигатели (СД). Оптимизация режимов работы СД дает определенный эффект. Однако в современных условиях хозяйствования известные методические подходы по оптимизации режимов возбуждения СД горных предприятий [2,3] требуют совершенствования и доработки.

В настоящее время большая часть электрооборудования (в т.ч. и СД) выработала значительную часть своего ресурса [4,5,6]. Ввиду конструктивных особенностей электрооборудования удельные затраты на его капитальный ремонт в 1,7 раза выше, чем в смежных областях [5,6]. Применение зонного учета при оплате за перетоки реактивной электроэнергии так же требует дополнительных затрат на автоматическое регулирование возбуждения СД. Для большинства предприятий темпы демонтажа и списания основных производственных фондов в 3,5–4 раза отстают от нормативных темпов выбытия электрооборудования из-за износа [5]. Поэтому выбор режимов работы СД, выработавших большую часть своего ресурса является важной актуальной задачей.

В исследованиях, приведенных в работах [5,6] рассматривается общая проблема создания новой технологии эксплуатации изношенного электрооборудования, но нет конкретных разработок относительно оптимизации режимов работы СД.

В статье ставится научная задача разработки и совершенствования методических подходов по определению режимов работы СД, выработавших большую часть своего ресурса, и оптимизации их технологии эксплуатации.

Синхронный двигатель является элементом электроприводов, входящих в определенные технологические циклы. Для СД генерация РМ не основная, а дополнительная функция. Использование двигателей как источников РМ приводит к дополнительным потерям электроэнергии и соответственно к дополнительному перегреву изоляции, что в свою очередь сокращает срок её службы.

При решении задач выбора режимов работы СД руководствуются показателями технико-экономической эффективности. Ежегодные приведенные затраты на компенсацию РМ в новых экономических условиях с учетом работ [2,3,7] предлагается определять по формуле

$$3 = \left[\sum_1^m (D_1 \Psi_{cni} + D_2 \Psi_{cni}^2) n_i + \Delta P_k Q_{k\Sigma} + P_c Q_c^2 + D Q_c \right] C T_\epsilon + (E_\Sigma + IO) 3_k Q_{k\Sigma}, \quad (1)$$

где n_i – число однотипных СД в узле нагрузки; m – число групп однотипных двигателей; D_1, D_2 – коэффициенты характеристик потерь активной мощности в СД; ΔP_k – удельные потери активной мощности в батарее конденсаторов (БК); $Q_{k\Sigma}$ – мощность БК; Q_c – РМ, передаваемая от энергоснабжающей организации; D – экономический эквивалент РМ; P_c – параметр электрической сети, $P_c = R_c / U^2$; R_c – сопротивление сети; U^2 – напряжение сети; C – стоимость единицы активной электроэнергии для потребителя; T_ϵ – число часов включения электрооборудования; 3_k – удельные капитальные затраты на БК; E_Σ – суммарный коэффициент, учитывающий отчисления на амортизацию и текущий ремонт; IO – коэффициент, определяемый нормой дисконта и сроком окупаемости капитальных вложений.

Определим оптимальный коэффициент загрузки СД по РМ (ψ_{io}). Приведенные затраты, вычисленные по формуле (1), являются функцией многих переменных. Поэтому для определения ψ_{io} найдем минимум функционала (1). Воспользуемся методом обнуления неопределенных множителей Лагранжа (λ) [8]. Запишем уравнение связи и вспомогательную функцию:

$$\varphi_c = Q - Q_c - Q_{k\Sigma} - \sum_1^m \psi_{io} \cdot Q_{НСДи} \cdot n_i; \quad F_\lambda = 3 - \lambda \varphi_c, \quad (2)$$

где $\sum_1^m \psi_{io} \cdot Q_{НСДи} \cdot n_i$ – РМ, генерируемая СД определенной группы.

Частные производные функции (1) при выполнении условий (2) позволяют найти оптимальное относительное значение РМ двигателя как

$$\psi_{io} = \frac{Q_{НСДи} [(E_\Sigma + IO) 3_k + \Delta P_k C T_\epsilon] - D_1 C T_\epsilon}{2 (D_2 - P_c Q_{НСДи}^2) C T_\epsilon}, \quad (3)$$

где $Q_{НСДи}$ – номинальная мощность СД.

Выражение (3) получено без учета ограничений на капзатраты для БК. В случае отсутствия БК оптимизация функции (1) дает относительное значение РМ

$$\psi_{io} = \frac{Q_{НСДi} D - D_1}{2(D_2 - P_c Q_{НСДi}^2)}. \quad (4)$$

Полученные выражения (3) и (4) позволяют определить оптимальную загрузку СД по РМ. Однако они не учитывают теплового износа изоляции двигателя от генерации РМ, что может привести к необходимости более ранней замены СД или его капитального ремонта.

Приведем методику определения целесообразности генерации РМ двигателем, выработавшего большую часть своего ресурса.

Потери мощности в СД при работе в номинальном режиме [9]

$$\Delta P_{эл} = P_n (1 - \eta_n) / \eta_n - \Delta P_{мех},$$

где P_n , η_n , $\Delta P_{мех}$ – соответственно номинальная мощность, КПД и механические потери в двигателе ($\Delta P_{мех} \approx 0,02 P_n$ [9]).

Примем загрузку СД по активной мощности $\beta = 0,5 \dots 0,6$ [2]. Тогда относительное значение располагаемой реактивной мощности, генерируемой двигателем [2],

$$\psi_{см} \leq \sqrt{1 - \beta^2 \cos(\varphi_n^2)} / \sin(\varphi_n),$$

где $\cos(\varphi_n)$, $\sin(\varphi_n)$ – соответственно номинальные значения $\cos(\varphi_n)$ и $\sin(\varphi_n)$.

Потери активной мощности на генерацию РМ

$$\Delta P_{СД} = D_1 \psi_{сн} + D_2 \psi_{сн}^2.$$

При номинальном токе статора оставшийся срок службы СД $T_o = T_n - T_{от}$, где T_n – нормативный срок службы; $T_{от}$ – отработанный срок службы.

Если двигатель работает с меньшей загрузкой по РМ, то потери мощности уменьшаются, и соответственно улучшается тепловой режим изоляции и продлевается срок ее службы. Увеличение срока службы изоляции в относительных единицах $Z = e^{\epsilon \Delta \tau}$ [10], где $\epsilon = 0,0866$; $\Delta \tau$ – снижение температуры изоляции.

Примем гипотезу об экспоненциальной зависимости температуры изоляции от мощности. Установившееся значение температуры изоляции будет при номинальных потерях мощности. Перегрев изоляции для другого значения потерь мощности

$$\Theta_u = \Theta_n - \Theta_n e^{-\frac{\Delta P_{СД}}{\tau}},$$

где Θ_n – номинальное значение перегрева изоляции; τ – постоянная потеря мощности, которая численно равна потерям мощности, при которых перегрев изменится в 2.73 раза ($\tau \approx \Delta P_{эл} / 4$).

Тогда снижение температуры изоляции

$$\Delta \tau = \Theta_n - \Theta_u = \Theta_n e^{-\frac{\Delta P_{СД}}{\tau}}.$$

Рассмотрим следующие подходы к использованию СД, отработавших большую часть своего ресурса:

1. Двигатель не используется для генерации РМ. При этом его оставшийся срок службы продлевается.

2. Двигатель используется для генерации РЭ на полную мощность, но в результате более быстрого износа изоляции, вызванного генерацией РМ, необходимо установить новый СД или произвести капитальный ремонт старого.

Рассмотрим выражения приведенных затрат для двух вариантов с целью определения наиболее оптимального.

Ежегодные приведенные затраты для первого варианта будут определяться затратами на БК и затратами на РЭ, получаемую от энергоснабжающей организации, т.е.

$$Z_1 = [\Delta P_k Q_{k\Sigma} + P_c Q_c^2 + D Q_c] C T_g + (E_\Sigma + Ю) Z_k Q_{k\Sigma}.$$

Для второго варианта приведенные затраты с учетом коэффициента приведения

$$Z_2 = Ю [K_{сд} (1 + E)^{-T_{C1}}] + I_3, \quad (5)$$

где $K_{сд}$ – капитальные затраты на СД; T_{C1} – срок приведения затрат ($T_{C1} = T_o$); $I_3 = \Delta P_{СД} T_g C$.

В реальных условиях при оптимизации режимов работы СД по выражению (3) приведенные затраты, определяемые формулой (5), преобразовываются к равенству вида

$$Z'_z = Ю [K_{сд} (1 + E)^{-Z T_o}] + I_3$$

Следует отметить, что СД передвижных установок (экскаваторов) нельзя отнести к постоянным источникам РМ, а поскольку их режим работы зависит от технологии производства горных работ (вскрыша, добыча рудного тела, рекультивация), то определенные периоды времени они могут не работать. Кроме того, в настоящее время нет серийно выпускаемых устройств автоматического

регулирования возбуждения на постоянство генерации РМ для отечественных экскаваторов. По нормативным требованиям также не установлен средний срок службы двигателей экскаваторов. Поэтому реализация компенсирующей способности СД передвижных установок при значительном их износе нерациональна.

Приведенные выкладки позволяют сделать следующий вывод. В современных условиях при значительном износе СД режимы их работы необходимо выбирать по двум составным критериям: по критерию приведенных затрат на генерацию РМ и критерию, учитывающему ускоренный износ изоляции, вызванный генерацией РМ.

Дальнейшие исследования в данной области могут быть продолжены путем определения значения приведенных затрат для конкретных технико-экономических, стоимостных и временных показателей.

Список литературы

1. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 224 с.
2. Турышев Б.Ф., Горячих Ю.А. Об использовании синхронных двигателей карьерных экскаваторов для компенсации реактивной мощности //Изд. вузов. Горн. журн. – 1972. – №3. – С. 143–148
3. Кигель Г.А., Трифонов В.Д., Чирва В.Х. Оптимизация режимов возбуждения синхронных двигателей на железорудных горно-обогатительных комбинатах //Изв. вузов. Горн. журн. – 1981. – №7. – С. 107–110.
4. Управління енерговикористанням: Збірник доповідей/ Під ред. А.В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – 568 с.
5. Сазыкин В.Г. Системный подход к проблеме изношенного электрооборудования // Электрика. – 2001. – №4. – С. 11–14.
6. Сазыкин В.Г. Электрогериятрия – новая технология эксплуатации электрооборудования // Пром. энергетика. – 2000. – №4. – С. 11–14.
7. Електричні мережі систем електропостачання / Г.Г. Півняк, Г.А. Кігель, Н.С. Волотковська та ін.; За ред. Акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2003. – 316 с.
8. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. – М.: Гос. Изд. физ.-мат. лит-ры, 1963. – 659 с.
9. Электроснабжение железорудных горно-обогатительных комплексов / В.П. Аненко, П.П. Мирошкин, В.И. Шуцкий, В.Д. Трифонов. – М.: Недра, 1978. – 314 с.
10. Овчаренко Д.Е., Розинский Д.И. Повышение эффективности электроснабжения промышленных предприятий. – К.: Техника, 1989. – 287 с.