

В.А. Бородай*(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)*

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПРИВОДА ГОРНЫХ МАШИН С ТЯЖЕЛЫМ ПУСКОМ

Ряд механизмов горнодобывающей промышленности обладает значительным моментом трогания. Так, щековые и конусные дробилки характеризуются пусковым моментом до двух номинальных, а шаровые и стержневые мельницы - полуторным. Поэтому для обеспечения гарантированного пуска мощность синхронного электропривода завышают на 50...60%, что приводит к увеличению расхода электроэнергии в установившемся режиме.

Снизить установленную мощность при одновременном сохранении пусковых свойств привода предлагается за счет использования синхронных двигателей с расщепленными обмотками возбуждения и каскадным расположением конденсаторных групп. Принцип работы двигателя с специальным возбуждением основан на компенсации реактивной мощности в режиме асинхронного пуска. Исследования статических механических характеристик такого электропривода показали возможность достижения пускового момента 1,5...2,5 от номинального. При этом коэффициент мощности стремится к единице. Однако полученная информация является неполной.

Известно, что пуск синхронного привода сопровождается значительным размахом колебаний электромагнитного момента. Это особенно характерно для режима трогания и вхождения в синхронизм. Наличие больших масс и невозможность мгновенного изменения частоты вращения ротора двигателя от некоторой величины до заданной - одна из причин всплеска амплитуды пускового момента. Как следствие, такой физический процесс может вызвать аварийные ситуации при работе электромеханических систем большой мощности.

Поставленные задачи исследований затрагивают аспекты улучшения пусковых свойств синхронного привода за счет использования расщепленной обмотки возбуждения только в зоне скольжений от 1...0,5. Вопросы снижения влияния динамических перегрузок в режиме синхронизации не рассматривались.

Традиционно динамика синхронного электропривода оценивается следующими уравнениям [1, 2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\psi_d}{dt} = U_d + \psi_q \omega_\partial - r_a i_d; \quad \frac{d\psi_q}{dt} = U_q + \psi_d \omega_\partial - r_a i_q; \\ \frac{d\psi_f}{dt} = U_f - r_f i_f; \quad \frac{d\psi_{kd}}{dt} = -r_{kd} i_{kd}; \quad \frac{d\psi_{kq}}{dt} = -r_{kq} i_{kq}; \\ \frac{d\omega_\partial}{dt} = \frac{M_\partial - M_c}{T_M}; \quad \frac{d\varphi_\partial}{dt} = \omega_\partial; \quad \frac{d\theta}{dt} = 1 - \varphi_\partial, \end{array} \right.$$

где M_∂ - электромагнитный момент двигателя; M_c - статический момент сопротивления; φ_∂ - перемещение ротора двигателя; θ - угол рассогласования между полями статора и положением ротора; T_M - механическая постоянная.

Мгновенные значения токов и момента определены с учетом сверхпереходных параметров схемы замещения синхронного двигателя и схемы замещения специальной обмотки возбуждения, у которой из-за наличия емкостных элементов, эквивалентная реактивность зависит от скольжения s , т.е.

$$\begin{aligned} x_d''(s) &= \frac{D(s)}{x_{\text{эф}}(s)x_{kd} - x_{ad}^2}; & x_q'' &= \frac{x_q x_{kq} - x_{ad}^2}{x_{kq}}; & x_f''(s) &= \frac{D(s)}{x_d x_{kd} - x_{ad}^2}; \\ x_{kd}''(s) &= \frac{D(s)}{x_{\text{эф}}(s)x_d - x_{ad}^2}; & x_{dkd}''(s) &= \frac{D(s)}{x_{\text{эф}}(s)x_{ad} - x_{ad}^2}; & x_{fkd}''(s) &= \frac{D(s)}{x_d x_{ad} - x_{ad}^2}; \\ x_{fd}''(s) &= \frac{D(s)}{x_{kd} x_{ad} - x_{ad}^2}; & x_{qkq}'' &= \frac{x_q x_{kq} - x_{aq}^2}{x_{ad}}, \end{aligned}$$

где $D(s) = x_d x_{\text{эф}}(s)x_{kd} - x_{ad}^2(x_d + x_{\text{эф}}(s) + x_{kd}) + 2x_{ad}^3$; $x_{\text{эф}}(s)$ - эквивалентная реактивность специального возбуждения.

Решение системы дифференциальных уравнений выполнено совместно:

$$\begin{aligned} i_d &= \frac{\psi_d}{x_d''} - \frac{\psi_f}{x_{fd}''} - \frac{\psi_{kd}}{x_{dkd}''}; & i_q &= \frac{\psi_q}{x_q''} - \frac{\psi_{kq}}{x_{qkq}''}; & i_f &= \frac{\psi_f}{x_f''} - \frac{\psi_d}{x_{fd}''} - \frac{\psi_{kd}}{x_{fkd}''}; \\ i_{kd} &= \frac{\psi_{kd}}{x_{kd}''} - \frac{\psi_f}{x_{fkd}''} - \frac{\psi_d}{x_{dkd}''}; & i_{kq} &= \frac{\psi_{kq}}{x_{kq}''} - \frac{\psi_q}{x_{qkq}''}; & M_\partial &= (\psi_d i_q - \psi_q i_d); & i_c &= \sqrt{i_d^2 + i_q^2}, \end{aligned}$$

где i_c - ток статора.

Сравнительный анализ проведен на математической модели серийного синхронного электродвигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 с обычной обмоткой возбуждения и каскадной обмоткой возбуждения специальной конструкции (ОВСК). Режим пуска электропривода исследован при величине статического момента 0,3 от номинального. Результаты опытов представлены на рис.1, 2.

Характеристика на рис.1, а наглядно отображает возникновение трех резонансных эффектов, сформированных каскадной обмоткой возбуждения, что подтверждает возможность формирования пусковых характеристик заданной формы. Одна из задач исследования - оценить амплитуду колебаний электромагнитного момента, которая является ограничивающим фактором при эксплуатации механической части оборудования. Так, из рис.1, а и б установлено, что прирост амплитуды электромагнитного момента для двигателя со специальной обмоткой возбуждения составил не более 12%. Увеличение коэффициента мощности электродвигателя сопровождается увеличением пускового тока возбу-

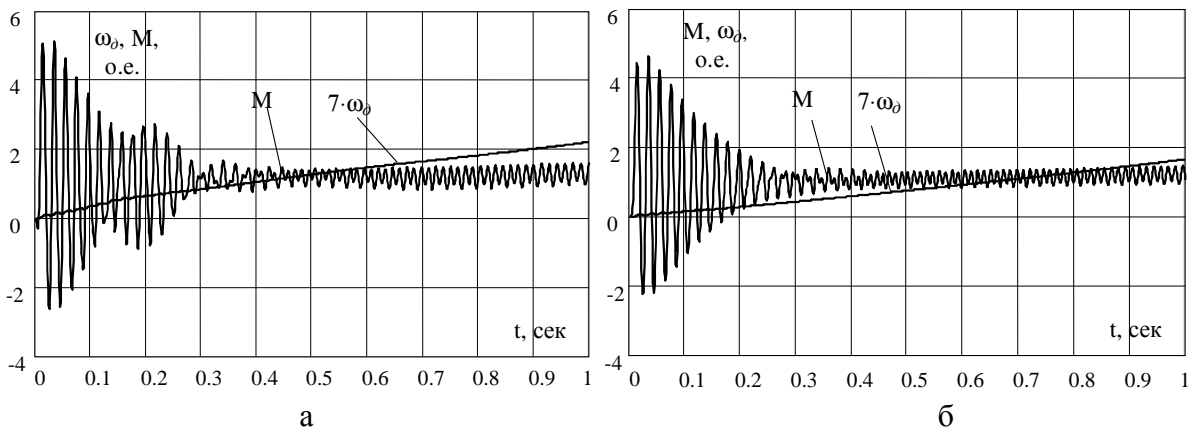


Рис.1. Момент пуска синхронного двигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 с ОВСК (а) и с традиционным возбуждением (б)

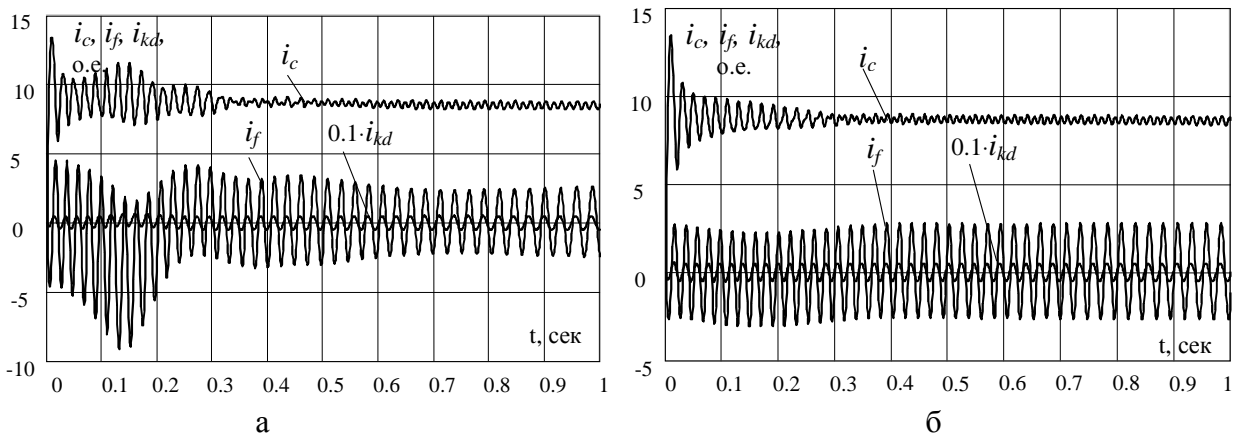


Рис.2. Пусковые токи синхронного двигателя СДМЗ-2-24-59-80-УХЛ4 с ОВСК (а) и с традиционным возбуждением (б)

ждения, что и наблюдается на рис.2, а. Перераспределение нагрузки на обмотку возбуждения соответственно снизило пусковые токи демпферной обмотки. Колебания тока обмотки возбуждения вызывают изменение тока статорных цепей машины. Однако данные изменения находятся в допустимых пределах, что видно на графиках рис.2, а и б. Увеличение среднего значения электромагнитного момента, в случае использования специального возбуждения, определяет 50%-ный прирост темпа разгона электропривода.

Таким образом, проведенные исследования дают основания утверждать, что настройка синхронного электропривода с каскадной расщепленной обмоткой возбуждения на момент трогания до 1,5 от номинального вызывает незначительное увеличение амплитуды колебаний электромагнитного момента. При этом темп нарастания скорости двигателя увеличился в 1,5 раза, а токи обмоток находятся в допустимых пределах.

Список литературы

1. Півняк Г.Г., Кириченко В.І. Електромеханічні системи енергонапружених млинів Монографія. – Дніпропетровськ: НГА України, 2000. – 166 с.

2. Осин И.Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. Пособие.
/Под ред. И.П. Копылова. – М.: Высш. шк., 1990. – 304 с.: ил.