

№ 7, с. 5–8. 2. Кудрин Б.И. О некоторых проблемах исследования электрического хозяйства металлургических предприятий. – В кн.: Электрификация металлургических предприятий Сибири. Томск: ТГУ, 1978, вып. 4, с. 7–72. 3. Ульзитов О.В., Кудрин Б.И. О прогнозировании некоторых параметров электрического хозяйства металлургических заводов. – В кн.: Электрификация металлургических предприятий Сибири. Томск: ТГУ, 1974, вып. 2, с. 108–111.

УДК 62–83:621.9

Г.И.Гульков, аспирант (БПИ)

ЗАКОН УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Совершенствование технологии изготовления изделий, получение точных литых, штампованных и других заготовок обусловило расширение применения процесса шлифования в машиностроении. Достижение высокой эффективности этого процесса обеспечивается повышением точности шлифовальных станков, что достигается в частности увеличением их виброустойчивости. Для обеспечения высокой чистоты и точности формы обрабатываемых поверхностей уровень вибраций должен сохраняться на заданном минимальном уровне. Снижение вибраций шлифовальных станков может быть достигнуто как повышением степени устойчивости системы станок – приспособление – инструмент – деталь (СПИД) (повышением жесткости, изменением подачи, глубины резания и т. д.), так и устранением возмущающих воздействий [1]. Для уменьшения вибраций на шлифовальных станках в адаптивных системах, как правило, прибегают к уменьшению величины подачи, что снижает производительность станка. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность уменьшения уровня вибраций путем воздействия на асинхронный электродвигатель (АД) привода шлифовального круга, который является одним из источников их возникновения, так как на продольно-шлифовальном станке шпиндель и АД конструктивно объединены и вибрации АД непосредственно передаются шлифовальному кругу. Уменьшение вибраций собственно АД привода шлифовального круга дает возможность увеличить величину подачи при заданном уровне вибраций шлифовального станка и тем самым повысить производительность

шлифования. Источниками вибрации водоохлаждаемого АД являются: электромагнитные силы, подшипники, механическая несбалансированность ротора. Имея в виду, что для шлифовальных станков используются прецизионные подшипники, небаланс ротора встраиваемого двигателя сводится до минимума, остановимся на электромагнитных вибрациях. Величина удельной радиальной силы, действующей на единицу поверхности воздушного зазора определяется выражением [2]

$$F_{\text{уд}} = 0,4 \cdot 10^6 \cdot B_{\delta}^2(\theta, t), \quad (1)$$

где B_{δ} – мгновенное значение магнитной индукции в воздушном зазоре в точке, удаленной на угол θ от начала координат в момент времени t .

В шлифовальных станках АД привода шлифовального круга работает с различной нагрузкой, которая зависит от режима работы станка (черновое или чистовое шлифование, правка круга). Электромагнитный момент АД пропорционален магнитному потоку

$$M = C \cdot \Phi \cdot I_2 \cos \varphi_2,$$

где C – постоянный коэффициент; φ_2 – угол сдвига между током и э. д. с. ротора.

Следовательно, при уменьшении момента нагрузки на валу АД можно уменьшить магнитный поток. Согласно (1) уменьшение потока вызовет уменьшение амплитуды радиальной силы, т. е. возмущающего воздействия, действующего на систему СПИД. Уровень снижения потока ограничивается номинальными потерями мощности в АД, так как для любых режимов работы электродвигателя необходимо, чтобы температура его частей не превосходила предельно допустимого значения. Определим закон изменения напряжения статора АД в функции электромагнитного момента при постоянстве потерь в машине, равных номинальным. Потери мощности в двигателе имеют следующие составляющие

$$\Delta P = \Delta P_{\text{э}1} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{э}2} + \Delta P_{\text{мх}}, \quad (2)$$

где $\Delta P_{\text{э}1}$, $\Delta P_{\text{э}2}$ – электрические потери в обмотках статора и ротора соответственно; $\Delta P_{\text{с}}$ – потери в стали статора; $\Delta P_{\text{мх}}$ – механические потери.

Добавочными потерями и потерями в стали ротора пренебрегаем.

Рассмотрим составляющие потерь. На основании Т-образной схемы замещения АД [3] (с учетом общепринятых допущений: параметры машины постоянны, фазные обмотки симметричны, потерями в стали пренебрегаем) можно записать:

$$I_1 = \frac{U_1 \sqrt{(x_0 + x_2')^2 + (\frac{r_2'}{s})^2}}{A}; \quad (3)$$

$$I_0 = \frac{U_1 \sqrt{x_2'^2 + (\frac{r_2'}{s})^2}}{A}; \quad (4)$$

$$I_2' = \frac{U_1 \cdot x_0}{A}, \quad (5)$$

где U_1 - фазное напряжение статора; $x_1, r_1, x_0, x_2', r_2'$ - параметры схемы замещения; s - скольжение двигателя;

$$A = \sqrt{\left[r_1 (x_0 + x_2') + (x_1 + x_0) \frac{r_2'}{s} \right]^2 + \left[r_1 \frac{r_2'}{s} - x_1 \cdot x_2' - x_0 (x_1 + x_2') \right]^2},$$

$$\Delta P_{\text{э}1} = m_1 \cdot r_1 \cdot I_1^2 = \frac{U_1^2 \cdot m_1 \cdot r_1 \cdot \left(\sqrt{(x_0 + x_2')^2 + (\frac{r_2'}{s})^2} \right)^2}{A^2}; \quad (6)$$

$$\Delta P_{\text{э}2} = m_1 \cdot r_2' \cdot I_2'^2 = \frac{U_1^2 \cdot m_1 \cdot r_2' \cdot x_0^2}{A^2}. \quad (7)$$

Известно также, что

$$\Delta P_{\text{э}2} = S \cdot M \cdot \omega_{\text{Он}}, \quad (8)$$

где M - электромагнитный момент двигателя; $\omega_{\text{Он}}$ - угловая скорость поля двигателя.

Разделив (5) на (6) и подставив в полученное выражение (7), после преобразований получим

$$\Delta P_{\text{э}1} = SM \left(K_1 + \frac{K_2}{s} \right), \quad (9)$$

где $K_1 = \omega_{\text{Он}} \frac{r_1}{r_2'} \left(1 + \frac{x_2'}{x_0} \right)^2$; $K_2 = \omega_{\text{Он}} \frac{r_1 \cdot r_2'}{x_0^2}$.

Потери в стали статора

$$\Delta P_{\text{с}} = \Delta P_{\text{сн}} \left(\frac{\Phi}{\Phi_{\text{н}}} \right)^2, \quad (10)$$

где $\Delta P_{\text{сн}}$ - номинальные потери в стали статора; $\Phi, \Phi_{\text{н}}$ - текущее и номинальное значение магнитного потока двигателя.

Определим магнитный поток АД

$$\Phi = \frac{E_1}{C_1 f_{1H}} = \frac{I_0 \cdot x_0}{C_1 f_{1H}} = \frac{U_1 \cdot x_0 \cdot \sqrt{x_2'^2 + \left(\frac{r_2'}{s}\right)^2}}{AC_1 \cdot f_{1H}}, \quad (11)$$

где $C_1 = 4,44 W_1 k_1$ - конструктивная постоянная статора машины; W_1 - число последовательных витков одной фазы; k_1 - обмоточный коэффициент; f_{1H} - номинальная частота питающего напряжения.

Совместное решение уравнений (7), (8), (10), (11) дает

$$\Delta P_c = s M \left(K_3 + \frac{K_4}{s^2} \right), \quad (12)$$

$$\text{где } K_3 = \frac{\Delta P_{сн} \cdot x_2'^2 \cdot \omega_{OH}}{\Phi_H^2 \cdot C_1^2 \cdot f_{1H}^2 \cdot m_1 \cdot r_2'}; \quad K_4 = \frac{\Delta P_{сн} \cdot r_2' \cdot \omega_{OH}}{\Phi_H^2 \cdot C_1^2 \cdot f_{1H}^2 \cdot m_1}.$$

В соответствии с (2) сумму составляющих потерь приравняем номинальным. Получим

$$\Delta P_H - \Delta P_{мх} = s M \left(K_5 + \frac{K_6}{s^2} \right), \quad (13)$$

где $K_5 = K_1 + K_3 + \omega_{OH}$; $K_6 = K_2 + K_4$.

Из (13) определим зависимость $M = f(s)$, при выполнении которой потери мощности в АД будут равны номинальным

$$M = \frac{\Delta P_H - \Delta P_{мх}}{s \left(K_5 + \frac{K_6}{s^2} \right)}. \quad (14)$$

Решив (14) относительно s , получим

$$s = \frac{\Delta P_{1H} + \sqrt{\Delta P_{1H}^2 - K_7 M^2}}{K_8 M}, \quad (15)$$

где $K_7 = 4K_5 \cdot K_6$; $K_8 = 2K_5$; $\Delta P_{1H} = \Delta P_H - \Delta P_{мх}$.

Второй корень уравнения (14) в реальных условиях не имеет физического смысла.

Для определения закона изменения напряжения АД воспользуемся уравнением механической характеристики, из которого

$$\begin{aligned} U_1^2 &= \frac{M \cdot \omega_{OH} \cdot s \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}{m_1 \cdot r_2'} = \\ &= M s \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + K_9 \right] \cdot K_{10}, \end{aligned} \quad (16)$$

где $K_9 = (x_1 + x_2')^2$; $K_{10} = \frac{\omega_{0H}}{m_1 \cdot r_2'}$.

Решив совместно (15) и (16), получим

$$U_1 = \sqrt{(K_{12} + K_{11} \sqrt{\Delta P_{1H}^2 - K_7 M^2}) \left[(r_1 + \frac{K_{13} \cdot M}{\Delta P_{1H} + \sqrt{\Delta P_{1H}^2 - K_7 M^2}})^2 + K_9 \right]}, \quad (17)$$

где $K_{11} = \frac{K_{10}}{K_8}$; $K_{12} = K_{11} \cdot \Delta P_{1H}$; $K_{13} = K_8 \cdot r_2'$.

Выражение (17) представляет собой закон изменения напряжения статора АД в функции электромагнитного момента при постоянстве потерь в машине. При определенном значении момента нагрузки в установившемся режиме АД будет работать в точке механической характеристики, вид которой определяется напряжением U_1 согласно (17), со скольжением s , при котором потери в АД равны номинальным (рис. 1). Такой режим работы АД привода шлифовального круга благоприятен для прецизионных шлифовальных станков, которые устанавливаются в термоконстантных цехах. С уменьшением нагрузки и магнитного потока увеличивается скольжение s и при некотором значении момента нагрузки $M_{СК}$ скольжение станет равно критическому.

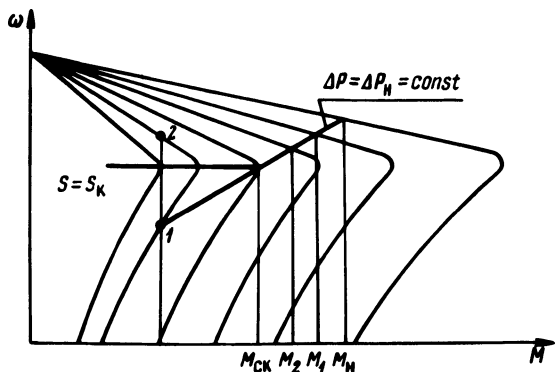


Рис. 1. Механические характеристики АД при регулировании напряжения по соотношениям (17), (18).

При $s > s_k$ потери в АД будут номинальными лишь при работе его на неустойчивой части механической характеристики в точке 1 (рис. 1), что возможно только в замкнутой по скорости системе электропривода. В разомкнутой системе АД будет работать на устойчивой части механической характеристики в точке

2 (рис. 1) и потери мощности в АД будут ниже номинальных. Таким образом, регулирование напряжения необходимо осуществлять следующим образом: при $M_{СК} \leq M \leq M_H$ по соотношению (17), а при $M < M_{СК}$ так, чтобы выполнялось условие $s = s_K = \text{const}$, т. е. осуществлять регулирование с постоянством скольжения. Подставив в (17) значение $s = s_K$, получим

$$U_1 = \sqrt{M s_K \cdot \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + K_9 \right] \cdot K_{10}}. \quad (18)$$

Регулирование напряжения по (18) позволяет уменьшить магнитный поток до минимального уровня, определяемого критической величиной скольжения. На рис. 2 представлены зависимости $U_1 = f(M)$ и $s = f(M)$ при регулировании напряжения

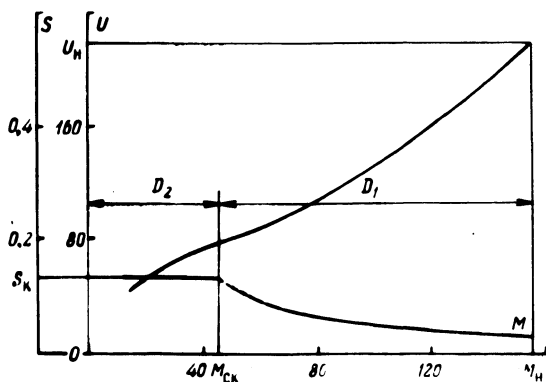


Рис. 2. Зависимости $U_1 = f(M)$, $s = f(M)$ при регулировании напряжения по соотношениям (17), (18); D_1, D_2 — регулирование напряжения по соотношению (17) и (18) соответственно.

по соотношениям (17), (18). Регулирование напряжения АД привода шлифовального круга в зависимости от момента нагрузки по соотношениям (17), (18) позволит уменьшить вибрации, сохранить постоянным тепловой режим шлифовального станка, повысить производительность шлифования.

Литература

1. Кудинов В.А. Динамика станков. — М.: Машиностроение, 1979. — 367 с.
2. Геллер Б., Гаммата В. Дополнительные поля, моменты и потери мощности в асинхронных машинах. — М.-Л.; Энергия, 1964. — 317 с.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. — Л.: Энергия, 1974. — 642 с.