

УДК 677.054:6283

## АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА БЕСЧЕЛНОЧНОГО ТКАЦКОГО СТАНКА

Э.Ф. ШАДРИН

(Ивановская государственная текстильная академия)

Причиной низкой производительности и аварийности ткацких станков являются значительные динамические нагрузки, обусловленные колебаниями угловой скорости валов станка и двигателя, вызванные изменением инерции движущихся масс и, прежде всего, батанного механизма, который может быть представлен в виде плоского четырехзвенника, находящегося под воздействием момента сил инерции [1].

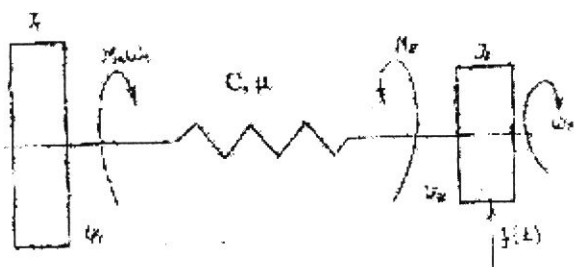


Рис. 1

В общем случае система электропривода может быть представлена в виде двухмассовой динамической модели (рис.1), где  $J_1$  и  $J_2$  – моменты инерции электродвигателя и приведенного к его валу механизма;  $C$  и  $\mu$  – соответственно коэффициенты упругости и вязкости кинематической передачи;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – углы поворота вала двигателя и механизма;  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – угловые скорости валов;  $M_1$  и  $M_2$  – моменты на валах двигателя и станка.

Действие переменного момента инерции учитывается возмущением  $f(t)$ , приложенным к валу механизма.

Динамический момент станка пред-

ставляет сумму двух слагаемых: первое зависит от колебаний угловой скорости  $\omega_2(t)$ , второе – от изменения момента инерции  $J$  при повороте вала станка на угол  $\varphi$  (рис.1 – двухмассовая упруговязкая модель электропривода ткацкого станка):

$$M_2 = J \frac{d\omega_2(t)}{dt} + \frac{\omega_2(t)^2}{2} \frac{dJ}{d\varphi}, \quad (1)$$

где  $J = \frac{J_1 J_2}{J_1 + J_2}$  – приведенный к оси вала станка момент инерции масс системы.

Периодичность изменения момента на валу станка  $M_2$  с учетом упругого момента передачи (рис.1)  $M_y = C\varphi$  позволяет разложить его в гармонический ряд.

Амплитуда гармонических колебаний момента  $M_2$  имеет вид

$$M_2 = M_{ст} + M_y,$$

где  $M_{ст}$  – статический момент станка.

Динамический момент двигателя  $M_1$  на ткацком станке при одном и том же значении скольжения отличается от момента, рассчитанного по статической характеристике на величину, определяющую потерю момента и скорости при внезапном приложении возмущения  $f(t)$ . В этом случае реальный момент на валу двигателя меньше статического момента.

Переходные электромагнитные процессы в асинхронной машине при переменной

нагрузке описываются системой дифференциальных уравнений общего вида [2], при этом уравнение потокосцепления ро-

$$\frac{d\psi_2'}{dt} + \psi_2' + js'\psi_2' = K_s \frac{M'}{S'} \frac{ds/dt}{\omega_0 S_m^2} e^{j(\gamma + \pi - 2\text{arctg}S')}, \quad (2)$$

где  $\psi_2'$  – потокосцепление ротора;  $K_s$  – конструктивный коэффициент;  $M'$ ,  $S'$  – относительные значения электромагнитного момента и скольжения двигателя;  $S$ ,  $S_m$  – рабочее и критическое скольжения двигателя;  $\omega_0$  – синхронная угловая скорость вращения;  $\gamma$  – угол поворота вектора потокосцепления на комплексной плоскости.

Правая часть этого выражения при малых значениях производной  $ds/dt$  близка к нулю, что имеет место при большом моменте инерции ротора двигателя. С увеличением правой части (2) отличие динамических характеристик, обусловленное электромагнитными переходными процессами, от соответствующих статических характеристик двигателя возрастает. При этом, чем больше критерий  $K_m = \frac{ds/dt}{\omega_0 S_m^2}$  [2], [3], тем сильнее отличаются реальные зависимости переменных при переходных процессах от рассчитанных по статическим механическим характеристикам.

$$\Delta M = M_a - M_b = M_{\max} 0,7\sqrt{K_m} = 45 \cdot 0,7\sqrt{0,21} \cong 14,43 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Такая потеря момента двигателя является одной из основных причин колебаний угловой скорости, снижения интенсивности разгона вала станка, значительных динамических нагрузок на механизмы станка и неблагоприятного теплового режима двигателя. При этом в кинематических звеньях механизмов станка возникают недопустимые динамические нагрузки, обу-

тора при безразмерном времени  $\tau$  имеет вид

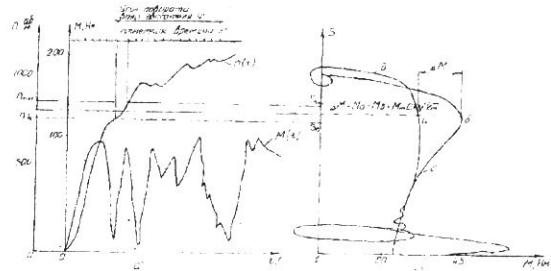


Рис. 2

По формуле  $\frac{\Delta M}{M_{кр}} = 0,7\sqrt{K_m}$  [2], [3]

при ( $K_m < 4$ ) [2] можно оценить максимальную разность между статическими и динамическими моментами при постоянной скорости изменения скольжения асинхронного двигателя с помощью критерия  $K_m$  (рис.2-а и б – динамическая характеристика асинхронного двигателя ткацкого станка: а) осциллограмма пуска под нагрузкой приводного двигателя; б) статическая "с" и динамическая "д" характеристики приводного двигателя).

Анализ экспериментальных динамических характеристик штатного двигателя 4А100Л6У3 станка АТПР-100 позволил определить значение  $K_m = 0,21$  и максимальную разность статического и динамического моментов, соответствующих одинаковому скольжению:

словленные неравномерностью частоты вращения, изменением скольжения двигателя и деформацией упругого звена.

Приняв исследуемую систему за двухмассовую с упруговязкой связью (рис.1), за ось приведения – ось вала двигателя, а за обобщенные координаты  $q = \varphi_1$  и  $\dot{q} = \dot{\varphi}_1$ , определим составляющие величины силовой функции [5] и, выполнив не-

обходимые подстановки и преобразования, получим дифференциальное уравнение движения исследуемой системы [4].

Для  $i$ -й гармонической составляющей дифференциальное уравнение примет вид

$$\ddot{\varphi}_i + \beta \dot{\varphi}_i + k^2 \varphi_i = \frac{M_i}{J} \sin(i\Omega t + \delta_i - \varepsilon_i), \quad (3)$$

где  $\Omega$  – частота вынужденных колебаний;  $\delta_i$  – начальная фаза;  $\varepsilon_i$  – сдвиг фаз  $i$ -й гармоники вынужденных колебаний от  $i$ -й гармоники возмущающей силы;  $J$  – приведенный момент инерции системы;  $k = \sqrt{\frac{C}{J}}$  – частота свободных колебаний;  $\beta$  – наклон механической характеристики двигателя.

Положив  $\gamma_i = \delta_i - \varepsilon_i$ , рассмотрим частное решение уравнения двухмассовой системы:

$$\varphi_i = \frac{M_i \sin(i\Omega t + \gamma_i)}{C \sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\beta i\Omega}{C}\right)^2}}. \quad (4)$$

Преобразуя уравнение угла закручивания упругой передачи и выражая угловую скорость через скольжение, определим гармоническую составляющую ускорения вала двигателя при возмущающем моменте  $M_i$ :

$$K_m = \frac{ds/dt}{\omega_0 S_{\max}^2} = \frac{R_1^2 + (x_1 + x_2)^2}{(R_2')^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{i^2 M_i}{Jk^2 \sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\beta i\Omega}{C}\right)^2}}, \quad (6)$$

где соответственно  $x_1 R_1$  и  $x_2 R_2'$  – активные и реактивные сопротивления обмоток статора и беличьей клетки ротора двигателя.

$$K_m = \frac{R_1^2 + (x_1 + x_2)^2}{(R_2')^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 \sum_{i=1}^{i=n} \frac{i^2 M_i}{J|k^2 - i^2 \Omega^2|}. \quad (7)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{i^2 \omega^2}{\omega_0} \frac{M_i \sin(i\Omega t + \gamma_i)}{C \sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\beta i\Omega}{C}\right)^2}}. \quad (5)$$

Для максимального значения  $M_i \sin(i\Omega t + \gamma_i) = 1$ , а сумма моментов

$$\sum_{i=1}^{i=n} M_{i \max} = \frac{\omega^2}{C \omega_0} \sum_{i=1}^{i=n} i^2 M_i K_{di},$$

где  $K_{di} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{i\Omega}{k}\right)^2\right]^2 + \left(\frac{\beta i\Omega}{C}\right)^2}}$  –

коэффициент динамичности системы [4]

соответствует сумме скольжений  $S = \sum_{i=1}^{i=n} S_i$ .

Определим величину критерия  $K_m$  и абсолютное значение разности моментов  $\Delta M = |M_a - M_\delta|$  при одном и том же скольжении асинхронного двигателя в функции электрических и механических параметров системы:

При отсутствии механического демпфирования  $\left(\frac{\beta i\Omega}{C}\right) = 0$  получим

Анализ формулы (7) показывает, что влияние электромагнитного переходного процесса на динамику системы двигатель – упругая передача – ткацкий станок уменьшается: с увеличением приведенного сопротивления ротора ( $R_2'$ ) и с уменьшением сопротивлений  $x_1 R_1$  и  $x_2$ , с увеличением синхронной угловой скорости  $\omega_0$ , в условиях работы системы в зарезонансной зоне ( $i\Omega \gg k$ ) с пониженной частотой свободных колебаний, то есть с увеличением абсолютной величины разности  $|k^2 - i^2\Omega^2|$  и приведенного момента инерции системы  $J$ ; при пониженных значениях возмущений  $\sum_{i=1}^{i=n} M_i K_{di}$  и, как следствие, уменьшенных ускорениях вала двигателя  $ds/dt$ .

Уменьшение динамических нагрузок на кинематические узлы станка возможно при использовании предложенного автором двигателя с двойным короткозамкнутым внешним ротором и двойной зубцовой зоной, разработанного во ВНИИЭлектромаше и изготовленного НПО ЯЭМЗ (рис.3: а) – асинхронный двигатель; б) – магнитная цепь двигателя).

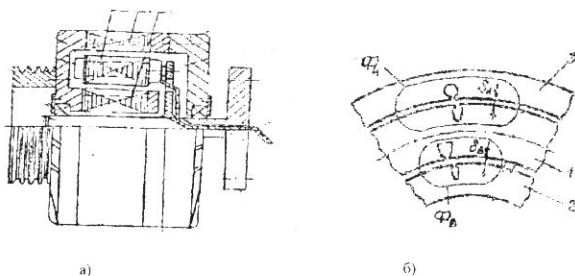


Рис. 3

Такой двигатель имеет тороидальный статор с пазами на внутренней и наружной поверхностях, в которых размещена кольцевая обмотка. Два магнитных потока  $\Phi_n$  и  $\Phi_b$  сцепляют двойной ротор с тороидальным статором (рис.3-б).

Магнитная цепь двигателя состоит из двух контуров (рис.3-а,б): внутреннего, магнитные силовые линии  $\Phi_b$  которого замыкаются через статор 1, внутренний воз-

душный зазор  $\delta_b$ , внутренний ротор 2 и наружный 3, магнитные силовые линии  $\Phi_n$  которого пересекают статор, наружный воздушный зазор  $\delta_n$  и наружный ротор 3 (рис.3-б).

Внешний ротор двигателя имеет повышенную удельную мощность – в нем в 3-4 раза сокращен вылет лобовых частей обмотки и уменьшен наружный диаметр внешнего ротора в сравнении с двигателем, имеющим один внешний ротор. Это позволяет выделить место для размещения увеличенного приведенного сопротивления ротора  $R_2'$ .

## ВЫВОДЫ

1. Предлагается с целью уменьшения динамических нагрузок на кинематические узлы бесчелночного ткацкого станка использовать двигатель с двойным ротором и статором, имеющим двойную зубцовую зону.

2. Разработана методика выбора оптимальных параметров двигателя, обеспечивающего ограничение динамических нагрузок на кинематику станка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шадрин Э.Ф. и др. // Электротехника. – 1991. №4. С. 58...60.
2. Соколов М.М. и др. Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе. – М.: Энергия, 1967.
3. Иванов-Смоленский А.В. // Электричество. – 1950. №6. С.21...25.
4. Лойцянский Л.Г. и др. Курс теоретической механики. – Ч. II. – М.: Гостехтеоретиздат, 1967.
5. Чиликин М.Г. и др. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергия, 1979.

Рекомендована кафедрой автоматики и радиоэлектроники. Поступила 04.03.03.