

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Наиболее распространённой в промышленных машинах и механизмах является электромеханическая система (ЭМС) с двухмассовой механической частью (ДМЧ). Для многих механизмов, у которых момент инерции механизма существенно превышает момент инерции двигателя, существенное влияние на поведение динамических режимов оказывают наличие зазоров в зубчатых зацеплениях, а также вязкое трение в процессе деформации упругих звеньев. Типовая расчётная схема ДМЧ приведена на рис.1. Очень важно оценить влияние вязкого трения, а также проанализировать эффективность предлагаемой коррекции на поведение ЭМС. В этом и состоит цель настоящего доклада.

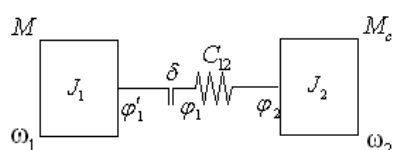


Рис. 1 Расчётная схема ДМЧ

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Рассмотрим вначале влияние вязкого трения на вид переходных процессов во время второго этапа, после выбора зазора. Известно, что в этом случае такая система описывается следующим уравнением относительно упругого момента M_{12} :

$$\frac{1}{\Omega^2} \frac{d^2 M_{12}}{dt^2} + \frac{b_{12}}{c_{12}} \frac{dM_{12}}{dt} + M_{12} = M_{12cp}; \quad (1)$$

здесь $M_{12cp} = \frac{M_1 J_2 + M_c J_1}{J_1 + J_2}$ – среднее значение момента упругой связи, действующее на чётном этапе и определяющее среднее ускорение второй массы, а b_{12} – коэффициент вязкого трения, определяемый на основании экспериментальных значений логарифмического декремента затухания d [4]

$$b_{12} = \frac{c_{12}}{\Omega} \times \frac{d}{\pi}, \quad (2)$$

где Ω – частота свободных колебаний.

Свободное решение уравнения (1) представляет собой сумму гармонических колебаний частотой

$$\omega_0 = \Omega \frac{\sqrt{4\pi^2 - d^2}}{2\pi} \quad (3)$$

$$\text{и затуханием } \alpha = \frac{d}{2\pi} \Omega.$$

Полное его решение

$$M_{12} = M_{12cp} + M_{12cp} e^{-\alpha t} \sqrt{1 + \left(\frac{c_{12} \omega_{12}}{\omega_0 M_{12cp}} - \frac{\alpha}{\omega_0} \right)^2} \times \sin(\omega_0 t + \psi). \quad (4)$$

Коэффициент динамичности [1,2] определим как отношение пика упругого момента к среднему базовому [4]

$$K_{дин} = \frac{M_{12cp}}{M_{12cp.баз}} \left(1 + e^{\frac{\alpha}{\omega_0} \psi_{max}} \sqrt{1 + \left(\frac{c_{12} \omega_{12}}{\omega_0 M_{12cp}} + \frac{\alpha}{\omega_0} \right)^2} \right) \times \sin(\psi_{max} + \psi), \quad (5)$$

где $M_{12cp.баз} = \frac{M_{II} J_2 + M_c J_1}{J_1 + J_2}$ – базовое значение момента упругой связи при разгоне второй массы, когда двига-

тель развивает реальный постоянный момент M_{II} , требуемый технологическим процессом. На рис.2 показана зависимость коэффициента динамичности от момента двигателя, когда значение зазора $\sigma = 0,5$ рад, $J_2 = 5J_1$ и различном декремента затухания: для $d = 0$ (1,2) и для $d = 0,5$ (3,4) при двух способах ограничения момента: первый способ предполагает уменьшение момента, развиваемого двигателем, только на первом этапе (кривые 1,3), а второй – на первом и на втором этапах (2,4). Таким образом, учёт потерь на диссипацию обеспечивает снижение коэффициента динамичности от 4,82 до 4,26, т.е. на 11,6 %. При моменте, равном половине от номинального и первом способе регулирования, – от 3,8 до 3,34 (на 13 %), а при втором способе регулирования – от 3,17 до 2,8 (на 11,7 %).

Последующие исследования показали, что коэффициент динамичности линейно связан с декрементом затухания, причем степень влияния декремента затухания (угол наклона прямой) практически не зависит от величины момента, развиваемого двигателем. Реальный максимальный декремент затухания для некоторых механизмов $d = 0,5$ [3] обеспечивает демпфирование пика до значения 88,5 %.

Таким образом, учёт диссипации в реальных условиях не оказывает существенного влияния на коэффициент динамичности. Поэтому предложена корректирующая обратная связь по разности скоростей обеих масс, дейст-

вие которой аналогично вязкому трению, момент которого и принимается пропорциональным этой разности.

Структурная схема ЭМС с ДМЧ и скоростей приведена на рис.3. Преобразователь представлен пропорциональным звеном $K_{П}$, электромагнитные переходные процессы в двигателе пока игнорируются. Система остается замкнутой обратной связью на любом этапе движения, несмотря на размыкание зазора. Для такой системы уравнение относительно упругого момента при замкнутом зазоре

$$\frac{1}{\Omega^2} \frac{d^2 M_{12}}{dt^2} + \left(\frac{b_{12}}{c_{12}} + \frac{K_{П} K_M K_{OC}}{J_1 \Omega^2} \right) \frac{dM_{12}}{dt} + M_{12} = M_{12cp} . \quad (6)$$

Как видно из уравнения, множитель при первой производной момента упругости, определяющий демпфирование, зависит от введенной обратной связи (K_{OC}), а частота колебаний остается неизменной. Выбором глубины обратной связи можно обеспечить желаемую допустимую степень колебательности, и следовательно, пик момента, при этом затухание

$$\alpha = -\frac{\Omega}{2} \left(\frac{d}{\pi} + \frac{K_{П} K_M K_{OC}}{J_1 \Omega} \right), \quad (7)$$

где $K_{П} = U_1 / U_y$ – коэффициент передачи, связывающий напряжение, подводимое к статору U_1 , с напряжением системы управления U_y , $K_M = M_1 / U_1$ – коэффициент, связывающий напряжение, подводимое к статору U_1 , с моментом, развиваемым двигателем M_1 . Так как для асинхронного двигателя $M_1 \equiv U_1^2$, то $K_M \equiv U_1$.

На рис.4 приведены зависимости коэффициента динамичности от глубины обратной связи для ЭМС с $J_2 = 5J_1$ и $\delta_1 = 2$ рад.

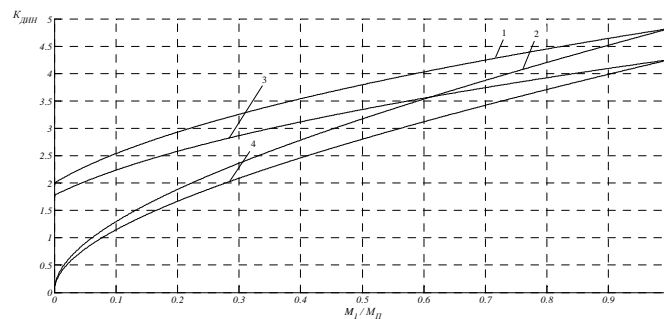


Рис. 2 Зависимости коэффициента динамичности от момента двигателя при выборе зазора

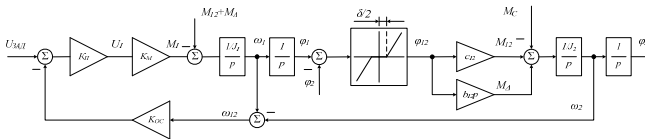


Рис. 3 Структурная схема ЭМС с ДМЧ, зазором и отрицательной обратной связью по разности скоростей

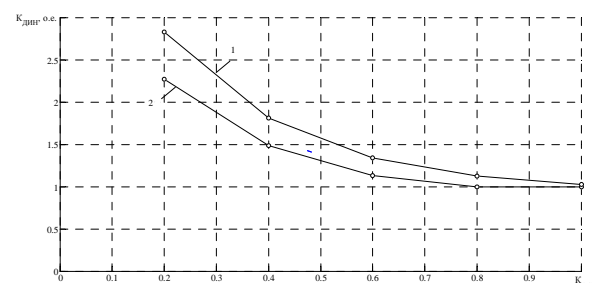


Рис. 4 Зависимость коэффициента динамичности от глубины обратной связи, когда:
1 – $K_M = const$, 2 – $K_M \equiv U_1$

Как видно из рис 4, нелинейная связь между напряжением статора и моментом, развиваемым двигателем, приводит к уменьшению коэффициента динамичности по сравнению с линеаризованной системой. Так, увеличение коэффициента K_M способствует снижению $K_{дин}$ при том же коэффициенте обратной связи K_{OC} .

ВЫВОДЫ. Введение дополнительной обратной связи позволяет обеспечивать требуемый коэффициент динамичности. В этом случае потери на диссипацию можно не учитывать ввиду широкого диапазона глубины обратной связи. Однако усиление демпфирования приводит к увеличению длительности пуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борцов, Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.
2. Ключев, В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В. И. Ключев. – М. : Энергия, 1971. – 320 с.
3. Герасимьяк, Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещев. – Одесса : – СМІЛ, 2008. – 192 с.
4. Герасимьяк, Р. П. Анализ поведения электромеханической системы с двухмассовой механической частью / Р. П. Герасимьяк, В. В. Субботин // Электротехнические и компьютерные системы. – К. : Техника. – 2012. – № 08 (84). – 2012. – С.17 – 23.