

УДК 621.771.06:233.2

И. Н. Задорожня, канд. техн. наук, Н. А. Задорожний, канд. техн. наук, О. А. Ребедак
 Донбасская государственная машиностроительная академия,
 Кафедра ЭСА, ДГМА, ул. Шкадинова 72, г. Краматорск, 84313, Украина
 ПАО “Новокраматорский машиностроительный завод”
 КПЦ “НКМЗ-Автоматика”, ул. Орджоникидзе, 5, г. Краматорск, 84305, Украина

АНАЛИЗ ДЕМПФИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЯХ В РЕЖИМЕ НИЗКИХ СКОРОСТЕЙ

Рассмотрены особенности динамики электропривода с упругими звеньями в режиме низких скоростей. Показано, что в режимах низких скоростей необходимо учитывать влияние переменных сил трения на демпфирующую способность электропривода. Получены соотношения для определения коэффициентов электромеханического демпфирования с учетом изменения знака трения. Библ. 4, рис. 4

Ключевые слова: электропривод, демпфирование, упругие колебания, оптимизация.

Розглянуто особливості динаміки електроприводу з пружними ланками в режимі низьких швидкостей. Показано, що в режимах низьких швидкостей необхідно враховувати вплив змінних сил тертя на демпфуючу здатність електроприводу. Отримано співвідношення для визначення коефіцієнтів електромеханічного демпфірування з урахуванням зміни знака тертя. Бібл. 4, рис. 4

Ключові слова: електропривод, демпфирование, упругие колебания, оптимизация.

Введение

Основной задачей автоматизированного электропривода является обеспечение заданной точности регулирования и ограничение динамических нагрузок на электрическое и механическое оборудование.

Для больших групп регулируемых электроприводов, используемых в станкостроении, робототехнике, металлургических машинах и подъемно-транспортных механизмах характерной особенностью является наличие упругих механических звеньев и значительное трение на валу двигателя. В динамике упругие механические звенья являются причиной возбуждения колебаний с ростом дополнительных механических нагрузок электропривода и искажением заданных законов движения.

Целью работы является исследование влияния трения на демпфирующее действие электропривода в режимах низких скоростей. Ограничение механических нагрузок достигается формированием механических характеристик с усилением демпфирующего действия электропривода [3]. В режиме снижения скорости при регулировании проявляются специфические свойства переменных сил трения на валу электродвигателя. На рис. 1 приведен график характеристики трения $M_{тр} = f(\omega_d)$ – зависимость момента трения от угловой скорости [1].

Материалы и результаты исследований

В диапазоне скоростей электродвигателя $\omega_1 < \omega_d < \omega_3$ при отработке ошибки регулирования, составляющие вязкого трения изменяются по величине и могут принимать отрицательные значения.

В результате влияния “отрицательного” вязкого трения на валу электродвигателя ослабляется демпфирование упругих колебаний в механической подсистеме электропривода, и при определенных значениях коэффициента трения.

$$a = \frac{dM_{тр}}{d\omega_d} \quad (1)$$

происходит самовозбуждение колебаний (дестабилизация) и потеря устойчивости.

Эти специфические свойства характеристики трения необходимо учитывать при синтезе систем автоматического управления и при выборе корректирующих звеньев. Поэтому вопросы исследования демпфирующего действия электропривода с упругими связями и переменными силами трения актуальны и способствуют дальнейшему совершенствованию динамических качеств электропривода.

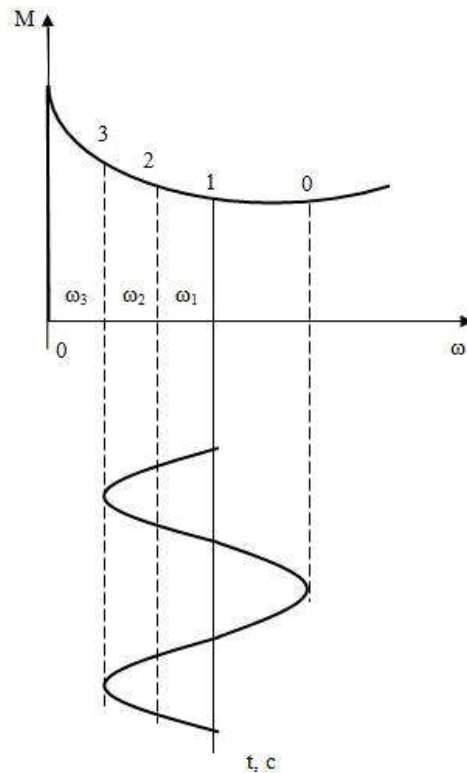


Рис. 1

В паспортных данных электродвигателей, в том числе и высокомоментных, условиями эксплуатации указано, что устойчивость работы в режиме низких скоростей обеспечивается системой регулирования. Силы трения в режиме низких скоростей изменяют частотные свойства двигателя как объекта управления, и показатели – коэффициент затухания ξ и резонансная частота Ω_p – также отклоняются от нормируемых (расчетных). При положительных значениях коэффициента (1) в работе [4] определены возможные границы отклонения показателей ξ , Ω_p и для режима низких и сверхнизких угловых скоростей приведены формулы оценки влияния механического трения. В работе [2] при учете диапазона регулирования с положительной составляющей вязкого трения определены условия достижения предельной степени демпфирующего действия электропривода и получены соотношения для параметрического синтеза, показано, что механическое трение нельзя считать просто вспомогательным для процесса затухания упругих колебаний.

В данной работе используются свойства собственно электромеханического преобразователя (двигателя) для условий проявления дестабилизирующего действия механического трения при упругих колебаниях.

Динамические свойства исследуемого электропривода можно представить структурной схемой в обобщенной форме и общепринятыми обозначениями, приведенной на рис. 2.

Механическая подсистема (МП) интерпретирована двухмассовой расчетной схемой с упругим звеном, электромагнитная подсистема (ЭП) – электродвигатель – колебательным звеном с трением на валу. В режиме малых отклонений угловой скорости трение принимается вязким, но в зависимости от скорости знак коэффициента принимает положительные и отрицательные значения. Исследование электропривода как электромеханической системы (ЭМС) производится на основании метода её представления отдельными (парциальными) взаимодействующими подсистемами – МП и ЭП.

Демпфирующие свойства ЭМС определяются характеристическим уравнением [2]:

$$Q(p) = \gamma T_{M1} T_{\vartheta} T_y^2 p^4 + \gamma (T_{M1} + a T_{\vartheta}) T_y^2 p^3 + \gamma ((K_i + a) T_y^2 + T_{M1} T_{\vartheta}) p^2 + (\gamma T_{M1} + a T_{\vartheta}) p + K_i + a = 0, \quad (2)$$

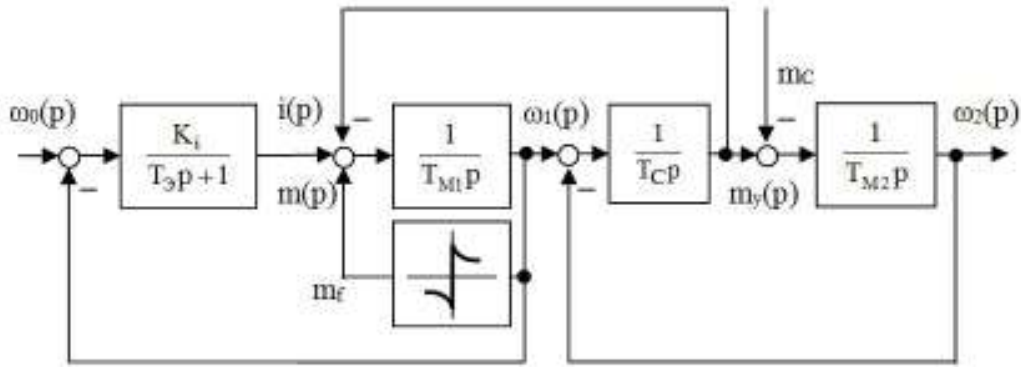


Рис. 2.

где $T_y^2 = T_{M1} T_{M2} T_c / (T_{M1} + T_{M2})$ – постоянная времени упругих колебаний;

$\gamma = (T_{M1} + T_{M2}) / T_{M1}$ – коэффициент распределения инерционных масс.

Упругая парциальная МП при оценке собственно демпфирующего действия электропривода представляется характеристическим уравнением консервативного динамического звена

$$Q_{МП}(p) = T_y^2 p^2 + 1 = 0, \quad (3)$$

с коэффициентом затухания $\xi_{МП} = 0$.

Электропривод при определенных соотношениях параметров “вносит” демпфирование в МП за счет электромеханической связи. Существенность электромеханической связи зависит от свойств электромагнитной парциальной подсистемы, которая при учете переменных сил трения описывается характеристическим уравнением звена второго порядка

$$Q_{ЭП}(p) = T_{M1} T_3 p^2 + (T_{M1} + a T_3) p + K_i + a = 0. \quad (4)$$

Для удобства анализа динамических свойств ЭП в общем виде необходимо абстрагироваться от абсолютных значений параметров. Характеристическое уравнение (4) приводится к типовой форме, и вводятся обобщенные показатели.

При отсутствии внешнего момента сопротивления ($m_c = 0$) в установившемся режиме угловая скорость вала двигателя определена уравнением механической характеристики

$$\Omega_1 = \Omega_0 - m_f / K_i, \quad (5)$$

где $m_f = a \Omega_1$ – момент сил трения на валу двигателя при линеаризации участков характеристики трения;

Ω_1 – фактическое значение угловой скорости двигателя;

Ω_0 – угловая скорость идеального холостого хода (задания).

Для режима низких скоростей влияние моментов сил трения $m_f = a \Omega_1$ количественно можно определить по отклонению скорости от идеального холостого хода (задания), если из (5) после подстановки величин m_f выразить

$$\frac{\Omega_0}{\Omega_1} = \left(1 + \frac{a}{K_i} \right) = \varepsilon, \quad (6)$$

где ε – коэффициент отклонения скорости ($\varepsilon > 0$ из физических соображений).

Характер влияния момента сил трения на амплитуду колебаний определяется для паспортного диапазона низких скоростей по (6) так

$$\begin{cases} \varepsilon > 1,0, & \Omega_1 < \Omega_0, & a > 0; \\ \varepsilon = 1,0, & \Omega_1 = \Omega_0, & a = 0; \\ \varepsilon < 1,0, & \Omega_1 > \Omega_0, & a < 0. \end{cases}$$

В первом случае момент сил трения оказывает стабилизирующее действие, так как трение положительно, во втором случае влияние момента сил отсутствует, так как нет трения, а в третьем – оказывает дестабилизирующее действие, так как электромеханическая связь ослабляется.