

УДК 622:621.3

В.М. Завьялов

ПОДАВЛЕНИЕ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ГОРНЫХ МАШИНАХ С ДВУХМАССОВОЙ РАСЧЕТНОЙ СХЕМОЙ

Существенная доля отказов горных машин связана с выходом из строя элементов трансмиссии. Одной из основных причин поломки элементов трансмиссии является наличие усталостных явлений, вызванных упругими колебаниями, которые возникают в переходных процессах пуска и останова электропривода, а также под действием нагрузки, которая носит резкопеременный характер. Очевидно, что подавление упругих колебаний в трансмиссиях горных машин является эффективным средством повышения их надежности.

Рассмотрим способ такого подавления для машин, расчетная схема которых представима в виде двухмассовой механической системы с пренебрежением потерь и внутреннего вязкого трения (рис.1). Запишем математическую модель системы в форме Коши:

$$\begin{aligned}\dot{\omega}_1 &= \frac{1}{J_1}(M - M_{12}) \\ \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{J_2}(M_{12} - M_c)\end{aligned}\quad (1)$$

$$\dot{M}_{12} = C_{12}(\omega_1 - \omega_2)$$

где ω_1 , ω_2 , J_1 , J_2 – частоты вращения и моменты инерции первой и второй масс; M – момент сил, прикладываемых к системе (управляющее воздействие); M_{12} – момент упругих сил; M_c – момент сопротивления (возмущающее воздействие); C_{12} – коэффициент жесткости упругой связи.

Из третьего уравнения системы (1) видно, что упругие колебания будут отсутствовать в том случае, когда частоты вращения первой и второй масс будут совпадать. Исходя из этого, в соответствии с синергетической теорией управления [1], выберем желаемое инвариант-

ное многообразие следующего вида:

$$\Psi = \omega_1 - \omega_2 = 0. \quad (2)$$

При движении системы вдоль заданного инвариантного многообразия Ψ гарантируется отсутствие упругих колебаний. Для того чтобы получить управляющее воздействие, гарантирующее выход системы из любой точки фазового пространства на инвариантное многообразие, и дальнейшее движение вдоль него, необходимо решить следующее функциональное уравнение относительно макропеременной Ψ :

$$T\dot{\Psi} + \Psi = 0. \quad (3)$$

Подставив (2) в (3), имеем:

$$T(\dot{\omega}_1 - \dot{\omega}_2) + (\omega_1 - \omega_2) = 0$$

В полученном уравнении избавимся от производных $\dot{\omega}_1$ и $\dot{\omega}_2$, заменив их на правые части первого и второго уравнений системы (1):

$$\begin{aligned}T\left(\frac{M - M_{12}}{J_1} - \frac{M_{12} - M_c}{J_2}\right) + \\ + (\omega_1 - \omega_2) = 0.\end{aligned}\quad (4)$$

Учитывая, что управляющим воздействием в системе является подводимый к ней момент сил M , выразим его из (4), в результате чего получим закон управления, подавляющий упругие колебания в двухмассовой механической системе:

$$\begin{aligned}M = \left(1 + \frac{J_1}{J_2}\right)M_{12} - \\ - \frac{J_1}{J_2}M_c - \frac{J_1}{T}(\omega_1 - \omega_2).\end{aligned}\quad (5)$$

Результаты компьютерного моделирования полученного закона управления для двухмассовой механической системы с параметрами: $J_1 = 1 \text{ кг}^*\text{м}^2$, $J_2 = 1 \text{ кг}^*\text{м}^2$, $C_{12} = 1000 \text{ Н}^*\text{м}/\text{рад}$,

$T = 0,01$, представлены на рис. 2. Как видно из графиков, частоты вращения первой и второй масс сходятся в одну линию в течение 0,15 с, что свидетельствует о стабилизации момента упругих сил M_{12} . Однако полученный закон управления (5) имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что в нем отсутствует какое либо задающее воздействие, поэтому при помощи него нельзя регулировать ни величину скорости, ни величину момента.

Для исключения данного недостатка осуществим синтез закона управления двухмассовой системой с использованием следующего желаемого инвариантного многообразия:

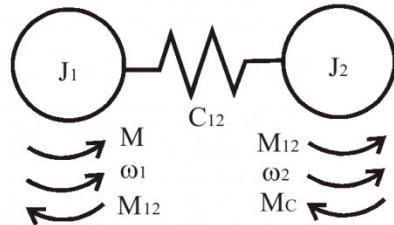


Рис. 1. Расчетная схема двухмассовой механической системы

$$\Psi_1 = M_{12} - M_{12}^* = 0, \quad (6)$$

где M_{12}^* – желаемое значение момента упругих сил. Очевидно, что, задав $M_{12}^* = \text{const}$, при выходе системы на инвариантное многообразие / упругие колебания будут подавляться. В то же время, изменяя M_{12}^* можно воздействовать на ускорение механической системы, а значит и на ее скорость.

Решив функциональное уравнение $T_1\dot{\Psi}_1 + \Psi_1 = 0$ для инвариантного многообразия (6), подставив правую часть третьего уравнения системы (1) и принял $M_{12}^* = \text{const}$, получим:

$$T_1 C_{12} (\omega_1 - \omega_2) + (M_{12} - M_{12}^*) = 0 \quad (7)$$

Здесь отсутствует подводимый к двухмассовой механической системе момент сил, являющийся управляющим воздействием, поэтому, в соответствии с концепцией динамического сжатия фазового пространства, известной в теории синергетического управления [1], введем в систему внутреннее управление, в качестве которого выберем частоту вращения первой массы. Выберем следующее желаемое инвариантное многообразие для внутреннего управления:

$$\Psi_2 = \omega_1 - v = 0,$$

где v - желаемая траектория движения переменной ω_1 , полученная из (7):

$$v = \omega_2 - \frac{1}{T_1 C_{12}} (M_{12} - M_{12}^*).$$

Таким образом, получаем следующее инвариантное многообразие, движение по которому гарантирует стабилизацию момента упругих сил M_{12} на заданном уровне:

$$\Psi_2 = \omega_1 - \omega_2 + \quad (8)$$

$$\frac{1}{T_1 C_{12}} (M_{12} - M_{12}^*) = 0.$$

Решение функционального уравнения $T_2 \dot{\Psi}_2 + \Psi_2 = 0$ совместно с (1) и (8) дает закон управления:

$$M = M_{12} + \frac{J_1}{J_2} (M_{12} - M_C) - J_1 \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) (\omega_1 - \omega_2) - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}} (M_{12} - M_{12}^*) \quad (9)$$

при котором система из любой точки фазового пространства попадет на инвариантное многообразие (6), после чего будет двигаться вдоль него.

С учетом полученного закона управления динамическое поведение замкнутой двухмассовой механической системы

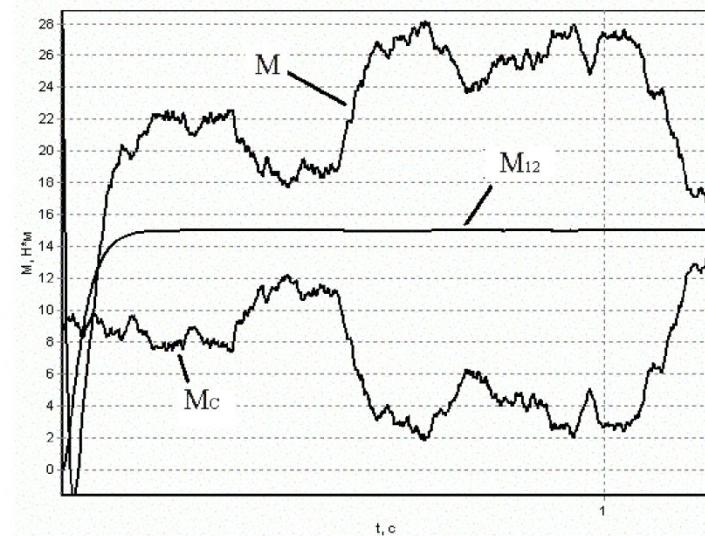


Рис. 3. Управляющий момент, момент сопротивления и упругий момент при управлении (10)

будет описываться следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \dot{\omega}_1 &= \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_C) - \left(\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right) \times \\ &\times (\omega_1 - \omega_2) - \frac{J_1}{T_1 T_2 C_{12}} (M_{12} - M_{12}^*); \\ \dot{\omega}_2 &= \frac{1}{J_2} (M_{12} - M_C); \\ \dot{M}_{12} &= C_{12} (\omega_1 - \omega_2). \end{aligned} \quad (10)$$

Результаты компьютерного моделирования работы двухмассовой механической системы с законом управления (10) представлены на рис. 3. При

использованием фрактального броуновского движения [2, 3].

Из результатов компьютерного моделирования видно, что момент упругих сил достигает заданного значения без перегулирования за 0.12 с, после чего стабилизируется, несмотря на резкоизмененный характер нагрузки. В то же время, воздействуя на заданный упругий момент, можно воздействовать на среднюю скорость движения рабочего органа, например, для поддержания оптимальной производительности горной машины.

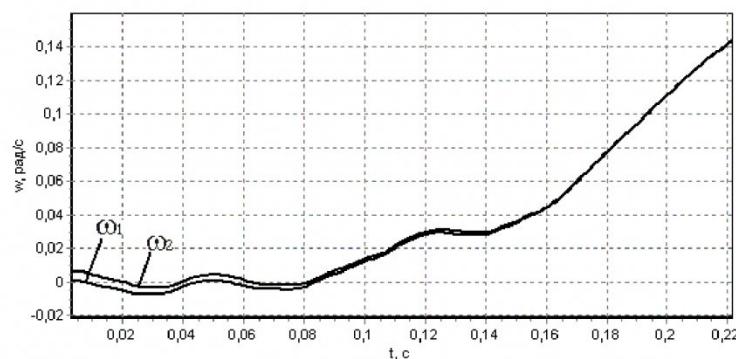


Рис. 2. Частоты вращения первой и второй масс при управлении (5)

моделировании использовались следующие параметры системы: $J_1 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $J_2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, $C_{12} = 1000 \text{ Н} \cdot \text{м}/\text{рад}$, $T_1 = 0.02$, $T_2 = 0.02$, $M_{12}^* = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Резкоизмененная составляющая нагрузки моделировалась с ис-

тью. Таким образом, полученный закон управления упругим моментом может быть рекомендован для использования в системах управления электроприводами горных машин для увеличения их срока службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТГУ, 2000. Ч. II – 559 с.
2. Р.М. Кроновер. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М: Постмаркет, 2000. – 352 с.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 5. Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова. М: Издат. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 287 с.

Автор статьи:

Завьялов

Валерий Михайлович

- канд.техн.наук, доц. каф. электропривода и автоматизации

УДК 62-83-52:621.3.025.3

А.В. Стародуб, И.Ю. Семыкина

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА СКОРОСТНОГО ГРАДИЕНТА

В [2] была рассмотрена система управления угловой скоростью асинхронного двигателя (АД), построенная на базе регулятора момента, синтезированного с помощью алгоритма скоростного градиента, предложенного в [1]. Однако в [1,2] исследования проводились для условий, при которых напряжение статора являлось непрерывной гладкой функцией времени, тогда как на практике

современные инверторы формируют напряжение посредством широтно-импульсного модулятора (ШИМ), что оказывается на результатах регулирования угловой скорости. Для проверки качества работы представленной в [2] системы регулирования угловой скорости, было произведено ее компьютерное моделирование с учетом ШИМ напряжения на выходе инвертора. Результаты модели-

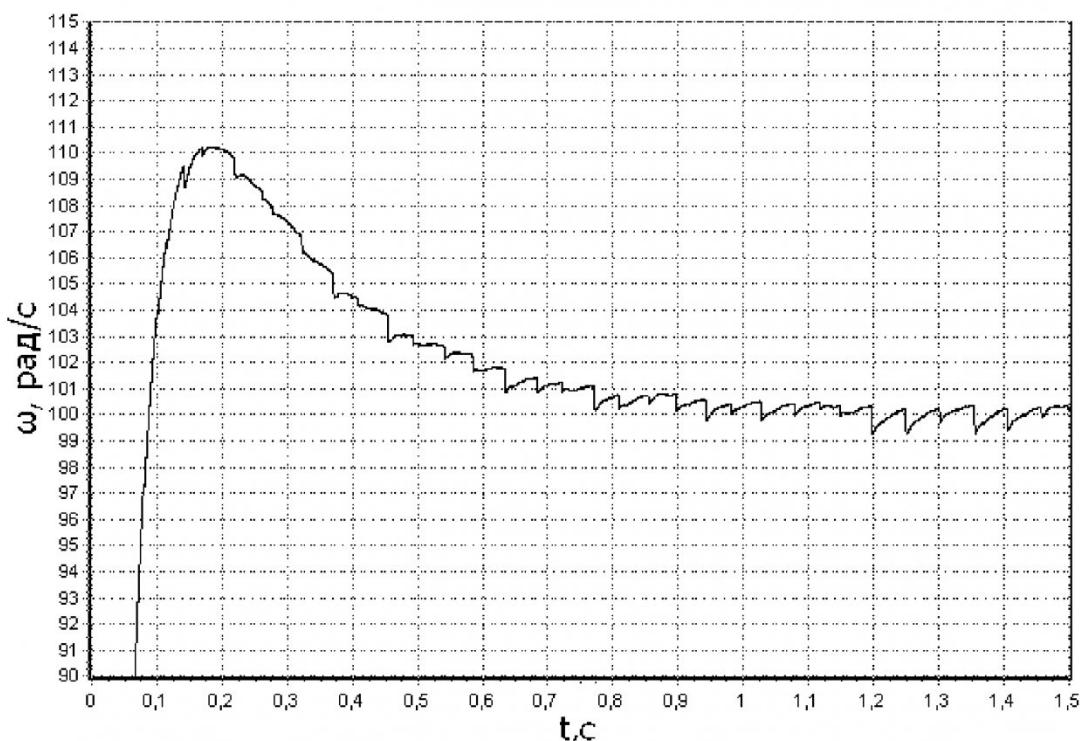


Рис. 1. Результаты компьютерного моделирования работы системы регулирования угловой скорости, основанной на управлении моментом с помощью алгоритма скоростного градиента с учетом ШИМ