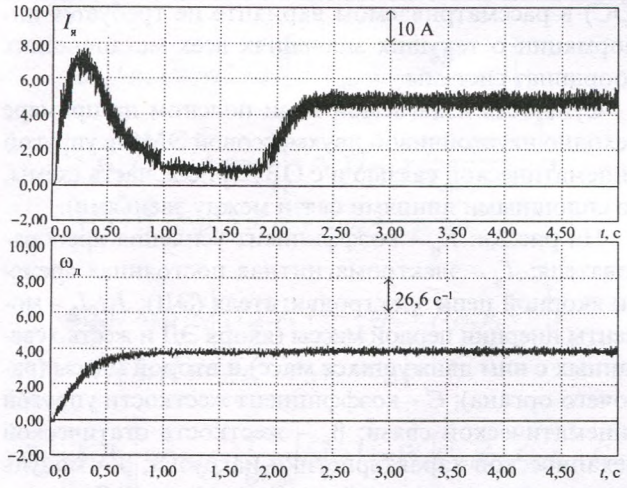


Рис.3. Осциллограммы $I_я(t)$ и $\omega_д(t)$ при пуске и набросе нагрузки в системе с комбинированным управлением задающим воздействием, если $\omega_0 = 80$ с$^{-1}$

$\omega_д(t)$ при пуске электропривода, показанный на рис.3, не имеет перерегулирования, а время $t_y = 0{,}9$ с. При $\omega_0 = 10$ с$^{-1}$ запуск системы происходит при $t_y = 1{,}15$ с, а наброс нагрузки приводит к динамической погрешности примерно 22%.

Синтез электропривода при условии обеспечения более высоких значений ω_0 дает возможность, как видно из рис.3, получить практически инвариантную систему к воздействию M_c.

Таким образом, предложенный метод синтеза ЭМС позволяет подходить с единых методологических позиций к определению передаточных функций элементов изменяемой части системы из условия получения желаемой стандартной формы.

Литература

1. **Лозинский О.Ю., Марущак Я.Ю., Лозинский А.О.** Некоторые аспекты формирования управляющих воздействий в электромеханических системах//Электротехника. 1999. № 5. С.52–56.

Лозинский Орест Юлианович – директор института энергетики и систем управления, заведующий кафедрой электропривода и автоматизации промышленных установок Национального университета "Львівська політэхника", доктор технических наук, профессор. Окончил электромеханический факультет Львовского политехнического института в 1965 г. Защитил диссертацию в 1996 г. по теме "Системы управления режимом дуговых сталеплавильных печей на основании вероятностных моделей процессов" в Государственном университете "Львівська політэхника".

Марущак Ярослав Юрьевич – доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Национального университета "Львівська політэхника", кандидат технических наук. Окончил электромеханический факультет Львовского политехнического института в 1974 г. Защитил диссертацию в 1988 г. по теме "Разработка электромеханической системы подачи электродов дуговой сталеплавильной печи" в Новосибирском электротехническом институте.

Квазинейрорегулирование двухмассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением

КЛЕПИКОВ В.Б., ПОЛЯНСКАЯ И.С.

Предложено построение регулятора, обеспечивающего заданные показатели регулирования, выполненного по архитектуре нейронной сети. Достигается упрощение структуры нейрорегулятора,сокращение числа измеряемых координат, отсутствие необходимости в наблюдателях состояния, а также исключение долговременной процедуры обучения нейросети. Получены аналитические соотношения для расчета весовых коэффициентов в функции обобщенных безразмерных параметров, характеризующих двухмассовую ЭМС с ОВТ при заданных показателях регулирования.

A regulator providing preset regulation parameters is suggested to be built within the frame of neural network architecture. It results in simplification of the neuroregulator structure, decrease in the number of measured co-ordinates, absense of state-spase observer and elimination of a long-time neural network training procedure. Analytical relations to calculate synapse weights in a function of generalized dimensionless parameters characterising a double-mass electromechanical system with negative viscous friction under preset regulation parameters are derived.

Одной из важных проблем в электроприводах с нагрузкой типа "пара трения" является возникновение в них фрикционных автоколебаний (АКФ), обусловленных наличием в механической характеристике (МХ) трения так называемого падающего участка, на котором увеличение скорости проскальзывания сопровождается снижением силы трения. Электропривод при этом представляет собой электромеханическую систему (ЭМС) с отрицательным вязким трением (ОВТ), а условием возникновения АКФ является динамическая неустойчивость ЭМС, когда рабочая точка находится на падающем участке МХ [1].

В статье излагается идея обеспечения устойчивости и иных показателей регулирования ЭМС с ОВТ путем использования регулятора, функционирующего по принципу нейроконтроллера (НК) с упрощенной структурой (условно квазинейрорегулирование). Преимуществом предлагаемого решения по сравнению с изложенным в [2,3], где нейроконтроллер выполнен в виде трехслойного перцептрона с транссиг-

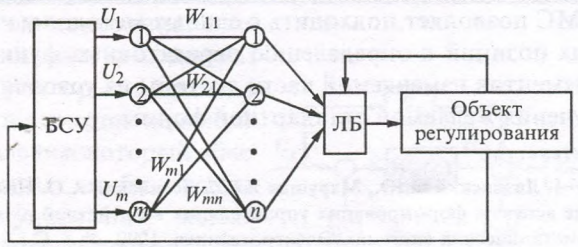


Рис.1. Схема квазинейрорегулятора

моидальной активационной функцией в скрытом слое, является отсутствие скрытого слоя, а также возможность определения весовых коэффициентов аналитически, без использования эволюционных методов обучения перцептрона, требующих весьма значительных затрат компьютерного времени. Предлагаемое решение обеспечивает также все достоинства, присущие микропроцессорным системам управления.

На рис.1 приведена схема, поясняющая принцип действия квазинейрорегулятора. Сигналы о значениях одной или нескольких выбранных координатах объекта регулирования подаются на блок сигналов управления *БСУ*, который передает их текущее и предшествующие значения (с определенной задержкой), а также сигнал задания U_1 на соответствующие входные нейроны (1…m). С входных нейронов сигналы передаются на выходные (1…n), будучи предварительно умноженными на аналитически рассчитанные по предложенной методике значения весовых коэффициентов, после чего преобразовываются активационной функцией. Количество выходных нейронов выбирается по количеству возможных состояний системы, в которых (с практической точки зрения) ее можно рассматривать как линейную. Состояние системы оценивается логическим блоком *ЛБ* (например, на основании данных, полученных компьютерной диагностикой), который подключает выходной нейрон, соответствующий аналитически синтезированным для данного состояния значениям весовых коэффициентов.

Аналитические соотношения для расчета весовых коэффициентов между входными нейронами и выходным получены с использованием приемов модального управления, однако в отличие от традиционных модальных ЭМС с жесткими обратными связями (ОС) в рассматриваемом варианте не требуется информации о текущих значениях всех механических координат системы.

Сущность излагаемой идеи поясним на примере исходно неустойчивой двухмассовой ЭМС с упругой кинематической связью и с ОВТ (рис.2, часть схемы, со сплошными линиями связи между звеньями).

На рис.2,*а*: $K_п$ – коэффициент усиления преобразователя; $T_э$ – электромагнитная постоянная времени якорной цепи электродвигателя (ЭД); J_1, J_2 – моменты инерции первой массы (якоря ЭД и жестко связанных с ним движущихся масс) и второй массы (рабочего органа); C – коэффициент жесткости упругой кинематической связи; β_c – жесткость статической механической характеристики нагрузки; β – модуль жесткости механической характеристики ЭД.

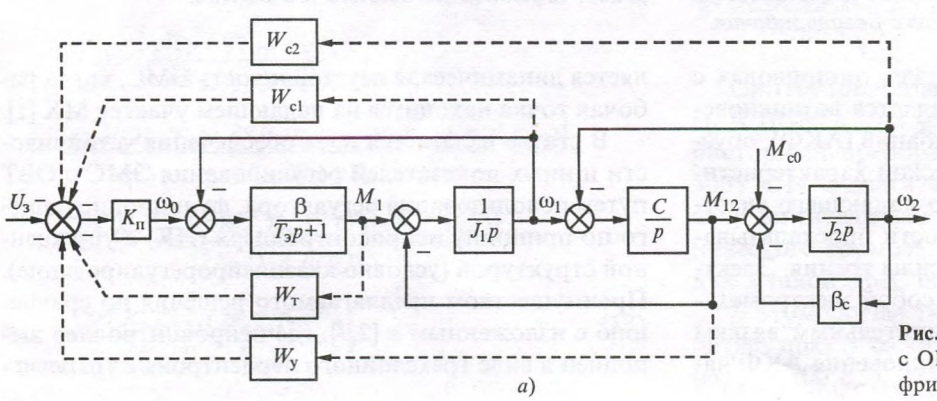
Механическую характеристику фрикционной нагрузки, аппроксимируем прямыми линиями, как показано на рис.2,*б*. При этом, сохранив нелинейность "в большом", мы обеспечиваем справедливость представленной математической модели исследуемой системы для всех участков при соответствующем изменении значений β_c и M_{c0}, т.е. полагаем, что на каждом из участков $M_c = M_{c0}+\beta_c\omega_{ск}$. Примем также $\omega_{ск}=\omega_2$, что, упрощая рассмотрение, не изменит динамических свойств ЭМС и при наличии линейной составляющей скорости $\omega_л$ = const, что чаще всего имеет место на практике.

Заметим, что классическая система с M_c = const является частным случаем рассматриваемой системы, соответствующей значению $\beta_c = 0$.

Как показано в [1], динамические свойства подобной системы, замкнутой ОС, показанными на рис.2,*а* пунктирными линиями, определяются характеристическим полиномом (ХП) 4-го порядка, где влияние каждой ОС отображается в виде соответствующих дополнений:

$$Q_{зам}(p_*)=Q_{раз}(p_*)+\Delta Q_т(p_*)+\Delta Q_{c1}(p_*)+\Delta Q_у(p_*)+\Delta Q_{c2}(p_*),$$

где $Q_{раз}(p_*)$ – ХП разомкнутой системы; $\Delta Q_т(p_*)$, $\Delta Q_{c1}(p_*)$, $\Delta Q_у(p_*)$, $\Delta Q_{c2}(p_*)$ – дополнения к ХП разомкнутой системы при замыкании ОС соответственно по моменту двигателя M_1 (току), по скорости двигателя ω_1, по упругому моменту M_{12} и по скорости второй массы ω_2. При этом



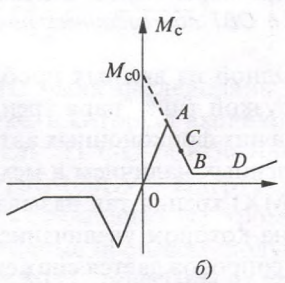


Рис.2. Структурная схема исследуемой ЭМС с ОВТ (*а*) и механическая характеристика фрикционной нагрузки (*б*)

$$Q_{\text{раз}}(p_*) = \gamma\nu p_*^4 + p_*^3\left[\gamma\left(T_{\text{м1}*} + \frac{\nu b}{(\gamma-1)T_{\text{м1}*}}\right)\right] +$$
$$+ p_*^2\left[\gamma\left(\nu + 1 + \frac{b}{\gamma-1}\right)\right] + p_*\left[\gamma T_{\text{м1}*} + \frac{\gamma+\nu(\gamma-1)}{T_{\text{м1}*}(\gamma-1)}\right] +$$
$$+ (b+1) = \gamma\nu p_*^4 + a_3'' p_*^3 + a_2'' p_*^2 + a_1'' p_* + a_0'';$$

$$\Delta Q_{\text{т}} = K_{\text{п}}\beta W_{\text{т}}\left[\gamma T_{\text{м1}*} p_*^3 + \frac{\gamma}{\gamma-1} b p_*^2 + \gamma T_{\text{м1}*} p_* + b\right] =$$
$$= W_{\text{т}}\left[C_{31} p_*^3 + C_{21} p_*^2 + C_{11} p_* + C_{01}\right];$$

$$\Delta Q_{\text{c1}} = K_{\text{п}} W_{\text{c1}}\left[\gamma p_*^2 + \frac{\gamma}{(\gamma-1)T_{\text{м1}*}} b p_* + 1\right] = W_{\text{c1}}\left[C_{22} p_*^2 + C_{12} p_* + C_{02}\right];$$

$$\Delta Q_{\text{у}} = K_{\text{п}}\beta W_{\text{у}}\left[(\gamma-1)T_{\text{м1}*} p_* + b\right] = W_{\text{у}}\left[C_{13} p_* + C_{03}\right];$$

$$\Delta Q_{\text{c2}} = K_{\text{п}} W_{\text{c2}} = W_{\text{c2}}\, C_{04},$$

где $\gamma = (J_1 + J_2)/J_1$ – коэффициент соотношения масс; $\Omega_{12} = \sqrt{C(J_1+J_2)/(J_1 J_2)}$ и $\Omega_{\text{эм}} = \sqrt{1/(T_{\text{э}}\, T_{\text{м1}})}$ – собственные частоты недемпфированных упругих и электромеханических колебаний двухмассовой ЭМС; $\nu = \Omega_{12}^2/\Omega_{\text{эм}}^2$ – отношение квадратов частот недемпфированного механического и электромеханического резонансов; $T_{\text{м1}*} = (J_1/\beta)\,\Omega_{12}$ – относительная электромеханическая постоянная времени двигателя; $b = \beta_{\text{c}}/\beta$ – отношение жесткости статической механической характеристики нагрузки к модулю жесткости механической характеристики ЭП в рабочей точке; $p_* = p/\Omega_{12}$ – безразмерный оператор дифференцирования.

Выражение ХП через вышеприведенные безразмерные параметры, во-первых, сводит к минимуму число параметров, определяющих динамические свойства системы, во-вторых, придает общность выводам и получаемым соотношениям. С учетом введенных обозначений ХП можно представить в виде:

$$Q_{\text{зам}}(p_*) = \gamma\nu p_*^4 + [a_3'' + C_{31} W_{\text{т}}] p_*^3 +$$
$$+ [a_2'' + C_{21} W_{\text{т}} + C_{22} W_{\text{c1}}] p_*^2 +$$
$$+ [a_1'' + C_{11} W_{\text{т}} + C_{12} W_{\text{c1}} + C_{13} W_{\text{у}}] p_* +$$
$$+ [a_0'' + C_{01} W_{\text{т}} + C_{02} W_{\text{c1}} + C_{03} W_{\text{у}} + C_{04} W_{\text{c2}}]. \qquad (1)$$

Чтобы найти параметры цепей ОС можно, исходя из требуемых показателей качества регулирования, либо задаться желаемым распределением корней и найти соответствующий ему ХП (в приведенном виде)

$$H_{\text{жел}}(p_*) = \prod_{i=1}^{4}(p - p_i) = p_*^4 + a_3 p_*^3 + a_2 p_*^2 + a_1 p_* + a_0,$$

либо выбрать стандартный полином с известным и подходящим распределением корней:

$$H_{\text{жел}}(p_*) = a_4 p_*^4 + a_3 p_*^3 + a_2 p_*^2 + a_1 p_* + a_0.$$

Приравняв коэффициенты при соответствующих степенях p_* ХП замкнутой системы (1) коэффициентам желаемого полинома (предварительно представив его в приведенном виде путем деления всех его членов на коэффициент при p^4), получим систему уравнений, в которой неизвестными являются параметры цепей ОС. Для однозначного решения полученной таким образом системы необходимо, чтобы количество определяемых параметров цепей ОС было равно количеству уравнений системы (в нашем случае – четырем).

Рассмотрим вопрос о том, по каким из координат ЭП следовало бы замкнуть ОС при синтезе нейрорегулятора.

Можно было бы выполнить все ОС безынерционными, как это делают при модальном управлении, однако в этом случае потребовалось бы иметь информацию о текущих значениях четырех координат ЭП, некоторые из которых, например упругий момент, трудно измеряемы.

Получить четыре уравнения с четырьмя неизвестными параметрами можно также, замкнув две ОС: по скорости первой и второй массы, выполнив их в виде сочетания гибкой и жесткой ОС [4]:

$$W_{\text{c1}} = K_2(T_2 p + 1); \quad W_{\text{c2}} = K_4(T_4 p + 1). \qquad (2)$$

Заметим, что в выражении (2)

$$T_i\, p = T_i \Omega_{12}\,(p/\Omega_{12}) = T_{i*}\, p_*.$$

В этом случае параметры цепей ОС определяются из системы уравнений:

$$\begin{cases} a_3' - a_3'' = b_3 = C_{22} K_2 T_2; \\ a_2' - a_2'' = b_2 = C_{12} K_2 T_2 + C_{22} K_2; \\ a_1' - a_1'' = b_1 = C_{02} K_2 T_2 + C_{12} K_2 + C_{04} K_4 T_4; \\ a_0' - a_0'' = b_0 = C_{02} K_2 + C_{04} K_4, \end{cases} \qquad (3)$$

где $a_i' = \gamma\nu\, a_i / a_4$ – приведенные коэффициенты желаемого полинома.

Решив систему (3) относительно K_2, T_2, K_4, T_4, получим:

$$K_2 = \frac{b_2 - C_{12}\dfrac{b_3}{C_{22}}}{C_{22}}; \quad K_4 = \frac{b_0 - C_{02}\dfrac{b_2 - C_{12}\dfrac{b_3}{C_{22}}}{C_{22}}}{C_{04}};$$

$$T_2 = \frac{b_3}{b_2 - C_{12}\dfrac{b_3}{C_{22}}}; \quad T_4 = \frac{b_1 - C_{02}\dfrac{b_3}{C_{22}} - C_{12}\dfrac{b_2 - C_{12}\dfrac{b_3}{C_{22}}}{C_{22}}}{b_0 - C_{02}\dfrac{b_2 - C_{12}\dfrac{b_3}{C_{22}}}{C_{22}}}.$$

Поскольку применение гибких ОС предполагает выполнение операции дифференцирования, применим аппарат обратных конечных разностей [5], реализуемый при построении ОС с помощью цифровых регуляторов.

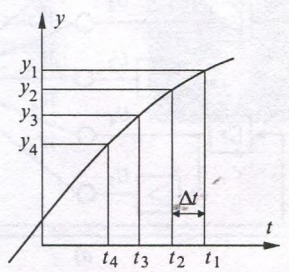


Рис.3. Квантование по времени произвольной координаты ЭП $y(t)$

При малых Δt приближенно выполняются равенства:

$$\left.\frac{dy}{dt}\right|_{t_1} \approx \frac{\nabla_1}{\Delta t} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta t};$$

$$\left.\frac{d^2y}{dt^2}\right|_{t_1} \approx \frac{\nabla_1^2}{(\Delta t)^2} = \frac{\nabla_1 - \nabla_2}{(\Delta t)^2} = \frac{(y_1 - y_2) - (y_2 - y_3)}{(\Delta t)^2} = \frac{y_1 - 2y_2 + y_3}{(\Delta t)^2}; \quad (4)$$

$$\left.\frac{d^3y}{dt^3}\right|_{t_1} \approx \frac{\nabla_1^3}{(\Delta t)^3} = \frac{\nabla_1^2 - \nabla_1^2}{(\Delta t)^3} = \frac{(y_1 - 2y_2 + y_3) - (y_2 - 2y_3 + y_4)}{(\Delta t)^3} =$$

$$= \frac{y_1 - 3y_2 + 3y_3 - y_4}{(\Delta t)^3},$$

где $\nabla_1, \nabla_1^2, \nabla_1^3$ – обратные конечные разности 1-, 2- и 3-го порядка соответственно в момент времени t_1 (рис.3).

Реализацию ОС по скоростям первой и второй массы и их производным можно выполнить, используя архитектуру двухслойной прямонаправленной НС с задержками по каждой ОС, как показано на рис.4,*а*. На вход НС поступают сигналы $\omega_1(t)$ и $\omega_2(t)$, а также их задержки на время Δt, как это выполнено в [2], т.е. U_2 является текущим значением $\omega_1(t)$, U_3 – $\omega_1(t-\Delta t)$, U_4 и U_5 – значениями $\omega_2(t)$ и $\omega_2(t-\Delta t)$ соответственно, а объектом является двухмассовая ЭМС с ОВТ. Значение U_1 соответствует сигналу задания U_3, а $W_1 = 1$.

Тогда, полагая

$$\omega_1(t) = y(t),$$

запишем

$$p\omega_1(p) \equiv \frac{d\omega_1(t)}{dt} \approx \frac{U_2 - U_3}{\Delta t}.$$

В этом случае

$$K_2(T_2 p + 1)\omega_1(p) \equiv K_2\left(T_2 \frac{d\omega_1(t)}{dt} + \omega_1(t)\right) \approx K_2\left(T_2 \frac{U_2 - U_3}{\Delta t} + U_2\right) = K_2\left(\left(\frac{T_2}{\Delta t} + 1\right)U_2 - \frac{T_2}{\Delta t}U_3\right) = -W_2 U_2 - W_3 U_3,$$

т.е.

$$W_2 = -K_2\left(\frac{T_2}{\Delta t} + 1\right); \quad W_3 = K_2 \frac{T_2}{\Delta t}.$$

Аналогично для ω_2:

$$W_4 = -K_4\left(\frac{T_4}{\Delta t} + 1\right); \quad W_5 = K_4 \frac{T_4}{\Delta t}.$$

Определение вида активационной функции выходного нейрона произведем из следующих соображений. Значения весовых коэффициентов при передаче сигналов от входных нейронов к выходному формируют выходной сигнал, обеспечивающий требуемые показатели регулирования. Поэтому в диапазоне регулирования активационная функция должна быть линейной с коэффициентом усиления $K_a = 1$. Однако в силу существующих в электроприводе ограничений, выходной сигнал ни при каких обстоятельствах не может стать чрезмерно большим. Самое жесткое из ограничений, накладываемых ЭП, определит уровень ограничения $U_{a.огр}$. Возможно также использование транссигмоидальной активационной функции со значением $K_a \geq 1$ в начале координат, что хотя и может несколько ухудшить динамические показатели, обеспечит более "сглаженный" характер сигнала управления.

Исходя из предложенного подхода, попробуем синтезировать НК, в котором в качестве исходной информации используются текущее и предшествующие значения лишь одной выходной координаты. Поскольку для однозначного определения весовых коэффициентов необходимо наличие четырех неизвестных, выберем передаточную функцию (ПФ) ОС вида:

$$W_{c2} = K_4(T_3^3 p^3 + T_2^2 p^2 + T_1 p + 1),$$

параметры которой определяются из следующей системы:

$$\begin{cases} b_3 = C_{04}K_4T_3^3; \quad b_2 = C_{04}K_4T_2^2; \\ b_1 = C_{04}K_4T_1^1; \quad b_0 = C_{04}K_4. \end{cases}$$

Запишем выражения для определения K_4, T_3, T_2, T_1:

$$K_4 = \frac{b_0}{C_{04}}; \quad T_1 = \frac{b_1}{C_{04}K_4} = \frac{b_1}{b_0}; \quad T_2 = \sqrt{\frac{b_2}{C_{04}K_4}} = \sqrt{\frac{b_2}{b_0}};$$

$$T_3 = \sqrt[3]{\frac{b_3}{C_{04}K_4}} = \sqrt[3]{\frac{b_3}{b_0}}. \quad (5)$$

Реализовать подобную ОС можно при помощи НС, изображенной на рис.4,*б*, на вход которой поступает сигнал $\omega_2(t)$, а также три его задержки на вре-

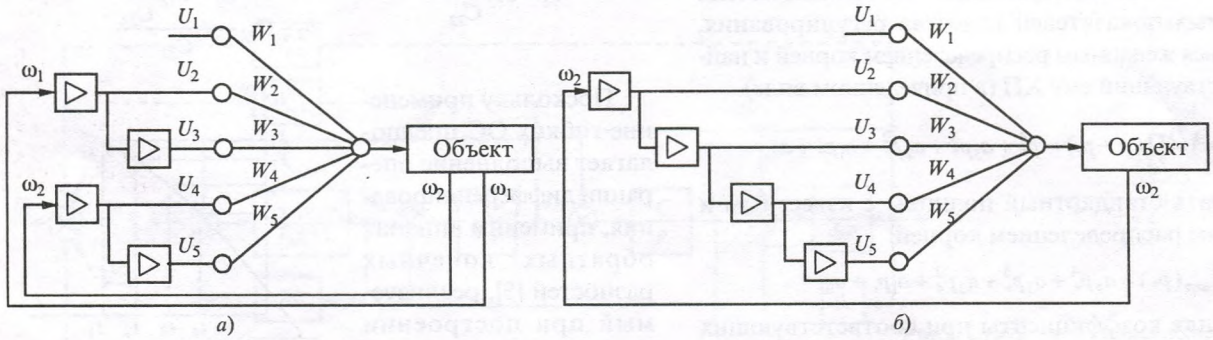


Рис.4. Нейросетевая система управления с ОС по скоростям:
а – первой и второй массы; *б* – второй массы

мя Δt, т.е. U_2 является текущим значением $\omega_2(t)$, U_3, U_4 и U_5 – значениями $\omega_2(t-\Delta t)$, $\omega_2(t-2\Delta t)$, $\omega_2(t-3\Delta t)$ соответственно.

Учитывая (4), запишем

$$W_2 = -K_4\left(\left(\frac{T_3}{\Delta t}\right)^3 + \left(\frac{T_2}{\Delta t}\right)^2 + \frac{T_1}{\Delta t} + 1\right);$$

$$W_3 = K_4\left(3\left(\frac{T_3}{\Delta t}\right)^3 + 2\left(\frac{T_2}{\Delta t}\right)^2 + \frac{T_1}{\Delta t}\right);$$

$$W_4 = -K_4\left(3\left(\frac{T_3}{\Delta t}\right)^3 + \left(\frac{T_2}{\Delta t}\right)^2\right); \quad W_5 = K_4(T_3/\Delta t)^3. \qquad (6)$$

Работа предлагаемой НС проверена на компьютерной модели двухмассовой ЭМС с ОВТ с параметрами $\gamma = 1{,}5$; $\nu = 5$; $b = -0{,}2$; $T_{м1*} = 0{,}3647$, которая в разомкнутом состоянии является неустойчивой. В качестве желаемого распределения корней было принято распределение Баттерворта четвертого порядка со значением среднегеометрического корня $\omega_{0б} = 1$. По соотношениям (5), (6) были рассчитаны весовые коэффициенты нейрорегулятора: $W_2 = -1{,}9219 \cdot 10^7$; $W_3 = 5{,}7488 \cdot 10^7$; $W_4 = -5{,}7320 \cdot 10^7$; $W_5 = 1{,}9051 \cdot 10^7$ при шаге дискретизации $\Delta t = 0{,}01$. Линейная активационная функция имеет ограничение $U_{а.огр} = 1{,}1$.

На рис. 5 приведены временные диаграммы, отображающие процесс установления автоколебательного режима в разомкнутой системе и его устранение подключением (при $t_* = 55$) одной ячейки квазинейрорегулятора. Очевидно, при постоянно подключенном регуляторе показатели регулирования улучшатся, так как он не позволит развиться автоколебательному режиму. При этом во время пребывания рабочей точки на восходящем участке характеристики трения должна быть подключена другая ячейка квазинейрорегулятора, синтезированная для иного значения обобщенного параметра b.

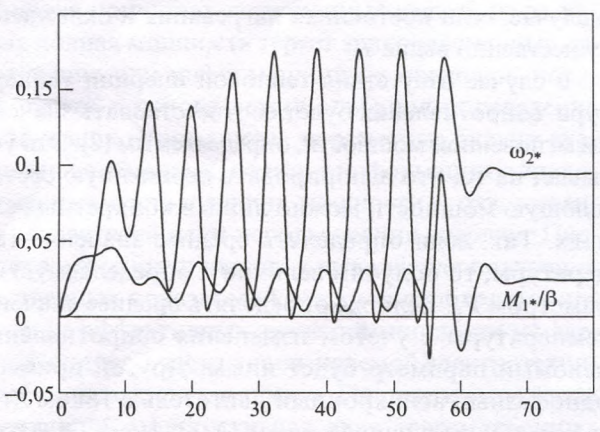


Рис.5. Переходный процесс в двухмассовой ЭМС с фрикционной нагрузкой

Выводы

1. Предложено построение регулятора, обеспечивающего заданные показатели регулирования, выполненного в рамках архитектуры нейронной сети. При этом достигается упрощение структуры нейрорегулятора, сокращение числа измеряемых координат, отсутствие необходимости в наблюдателях состояния, а также исключение долговременной процедуры определения весовых коэффициентов нейросети.

2. Получены аналитические соотношения для расчета весовых коэффициентов в функции обобщенных безразмерных параметров, характеризующих двухмассовую ЭМС с ОВТ при заданных показателях регулирования.

3. Теоретические положения статьи подтверждены компьютерным моделированием для наиболее тяжелого случая исходно-неустойчивой ЭМС с ОВТ.

Список литературы

1. **Клепиков В.Б.** Динамика электромеханических систем с отрицательным вязким трением: Дис...докт. техн. наук М., 1989.

2. **Клепиков В.Б., Сергеев С.А., Вороновский Г.К.** Генетические алгоритмы глобального поиска для оптимизации электроприводов// Тр. I междунар. конф. по электроприводу "АЭП-95". Санкт-Петербург. 1995. С.43–44.

3. **Клепиков В.Б., Махотило К.В., Обруч И.В., Камаль Наджи** Нейросетевая система управления электромеханической системой с отрицательным вязким трением // Вестник ХГПУ. 1998. С.378–380.

4. **Клепиков В.Б., Полянская И.С.** Синтез двухмассовой электромеханической системы с отрицательным вязким трением при регулировании по полному и неполному вектору состояния// Вісник Національного Технічного Університету "ХПІ". 2001. Вып.10. С.36–40.

5. **Овчинников П.Ф., Лисицин Б.М., Михайленко В.М.** Высшая математика: Учебное пособие. К.:Вища школа,1989.

Клепиков Владимир Борисович – заведующий кафедрой "Автоматизированные электромеханические системы" Национального технического университета "ХПИ", доктор технических наук, профессор. Окончил электромашиностроительный факультет ХПИ в 1961 г. В 1989 г. защитил докторскую диссертацию по теме "Динамика электромеханических систем с отрицательным вязким трением" в МЭИ.

Полянская Ирина Сергеевна – аспирант кафедры "Автоматизированные электромеханические системы" Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" (НТУ "ХПИ"). Окончила электромашиностроительный факультет НТУ "ХПИ" в 2000 г.