управления сложных технических объектов // Индустрия. 2005. № 1. С. 2–3.

7. Туркин И. И. Самоорганизующиеся системы управления сложными судовыми техническими средствами // Морские интеллектуальные технологии. 2008. № 1. С. 66–68.

8. Туркин И. И., Кирюхин С. Н. Экспериментальная проверка работоспособности и эффективности адаптивной на принципах самоорганизации системы автоматического управления //Материалы 23-й межвуз. науч.-техн. конф. «Военная радиоэлектроника: опыт использования и проблемы», СПб: 2012. Ч. 3. С. 209–215.

УДК 681.5

Студ. В.Ю. Козловский, А. М. Шилин
Науч. рук. доц. Д.А. Гринюк, ст. преп. В.В. Лихавичций
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

ВАРИАНТЫ СИНТЕЗА СИСТЕМЫ КОНТУРАМИ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Назначение регуляторов электроприводов состоит в том, чтобы путем обеспечения выполнения требований к исполнительной электромеханической системе по точности, устойчивости и качеству переходных процессов достигнуть цели управления. Обстоятельствами, усложняющими выбор структуры и параметры регуляторов приводов электромеханических систем, являются наличием внешних и внутренних силовых воздействий и позиционных силовых связей, погрешности преобразователей информации, используемых для создания корректирующих обратных связей.

Одним из способов реализации средств коррекции электромеханических систем является использование принципа построения подчиненных контуров регулирования. В этом случае регулятор электропривода образуется из нескольких вложенных друг в друга контуров управления. Преимущество такого подхода состоит в том, что контуры регулирования можно настраивать по очереди: сначала внутренний, затем – внешний. Настроенный внутренний контур выступает в роли объекта управления для регулятора внешнего контура.

Чтобы обеспечить измерение скорости, тахометр, сигнал которого пропорционален скорости, устанавливается непосредственно на вал двигателя. Установленное значение ω^* (желаемая скорость) непрерывно сравнивается с фактическим значением в системе управления. Определенная таким образом разность скоростей используется регулято-

ром скорости для регулирования ступени мощности преобразователя таким образом, что двигатель уменьшает разность контроллеров. Это представляет собой схему регулирования скорости замкнутого контура.

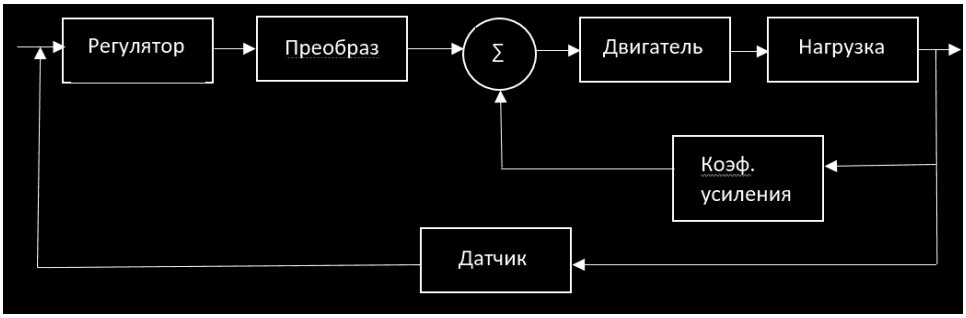

Рисунок 1. Контур контроля скорости

Контур скорости имеет более простую структуру и состоит из: передаточной функций датчика скорости и П либо ПИ регулятор.

Двигатель представлен здесь замкнутым контуром трех секций. Диаграмма имеет следующие значения:

$$\tau_e = \frac{L}{R} \tag{1}$$

$$R = R_M + R_C \tag{2}$$

$$L = L_M + L_C \tag{3}$$

$$J = J_M + J_L \tag{4}$$

$$K_{ME} = \frac{\omega_M}{E_M} \tag{5}$$

где τ_e – электромагнитная постоянная времени, R_M – сопротивление двигателя, R_C – сопротивление преобразователя, L_M – индукция двигателя, L_C – индукция преобразователя, K_{ME} – коэффициент усиления по ЭДС, J_M – момент инерций двигателя, J_L – момент инерций нагрузки.

При передаточной функций объекта:

$$W_0(s) = \frac{k}{(\tau_\mu + 1)(\tau 1 * \tau 2 * s^2 + \tau 1 * s + 1)} \tag{6}$$

$$W_{r\omega}(s) = \frac{\tau 1}{(2 * \tau_\mu * k_0)\left(1 + \frac{1}{\tau 1 * s} + \tau 2 * s\right)\left(1 + \frac{1}{4 * \tau_\mu}\right)} \tag{7}$$

Поскольку одноконтурные электроприводы с переменной скоростью не контролируют крутящий момент, они могут удовлетворительно регулировать скорость только при постоянной нагрузке. Для неустойчивой загрузки многоконтурные системы подходят лучше. Блок-схема приводного двигателя с двухтконтурным двигателем показана на

рисунке 2.

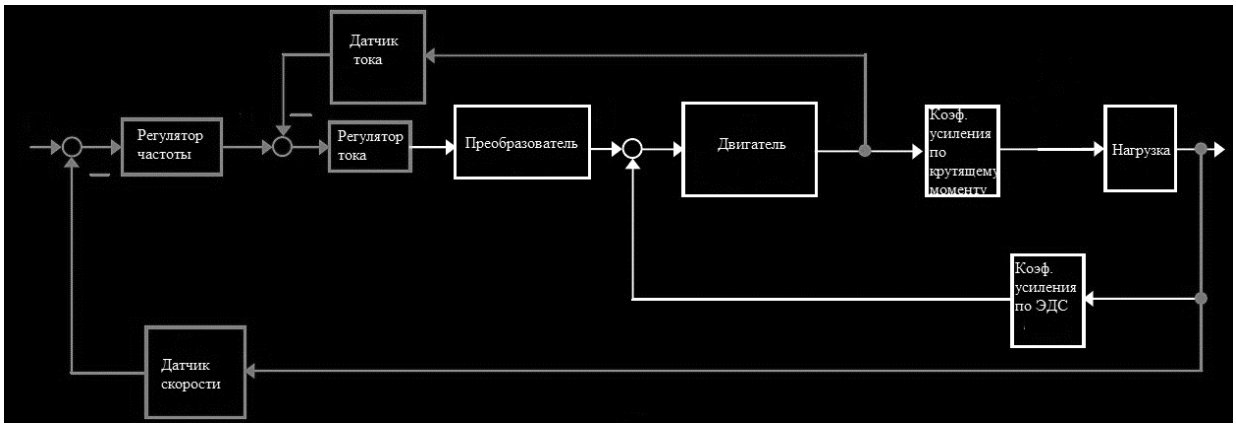

Рисунок 2 – Двухконтурная система

В этой каскадной системе внутренний контур управляет током, тогда как внешний контур управляет угловой частотой двигателя, то есть скоростью системы. Выходной сигнал от контроллера скорости служит в качестве уставки текущего контура. Контроллер тока сравнивает заданное значение и фактические значения и генерирует управляющие сигналы, которые направляются на коэффициент усиления управления преобразователя мощности. Токовая петля является самым внутренним контуром управления системой и поэтому должна реагировать очень быстро.

Передаточная функция токовой петли имеет следующий вид:

$$W_I(s) = \frac{\frac{1}{R} k_C k_I k_{ME} k_{MT} J R * s}{\left(\tau_\mu s + 1\right)\left(k_{ME} k_{MT} J R \tau_e s^2 + k_{ME} k_{MT} J R s + 1\right)} \quad (8)$$

Регулятор в этом случае:

$$W_{rI}(s) = \frac{R}{2(\tau_c + \tau_I) k_C k_I} s^{-1} \left(1 + \frac{1}{k_{ME} k_{MT} J R s} + \tau_e s\right) \quad (9)$$

Передаточная функция петли скорости в данном случае принимает следующий вид:

$$W_0(s) = \frac{k_\omega}{J k_I k_{MT} s \left(2 * \left(\tau_c + \tau_I\right) + \tau_\omega + 1\right)} \quad (10)$$

Регулятор:

$$W_{r\omega}(s) = \frac{J k_I k_{MT}}{2 * \left(2 * \left(\tau_c + \tau_I\right) + \tau_\omega\right) k_\omega} \quad (11)$$

Зададимся некоторыми параметрами. Данные значения прибли-

жены к реальным и хорошо отражают реакцию системы на заданное воздействие. Выходные графики при отсутствий ограничителя по току указаны на рисунках 2 и 3.

Красной и синей линией показаны скорости при ПИ и П регуляторах соответственно. Система с П регулятором имеем более высокое быстродействие и меньшее перерегулирование, что является плюсом системы, но при этих плюсах она все же проигрывает из-за уменьшения скорости при воздействиях момента сопротивления.

В реальных системах всегда имеется ограничение по току, исходя из этого: четко видно, что 2 возможных варианта подстановки регулятора полностью идентичны (рисунки 4 и 5).

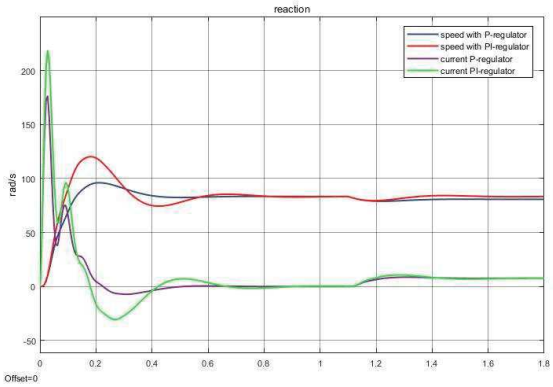

Рисунок 2 – Выходные параметры при начальной нагрузке

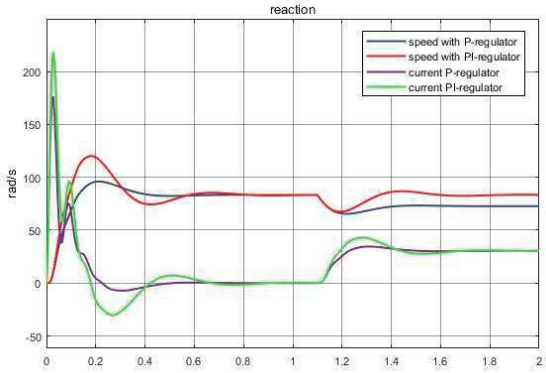

Рисунок 3 – Выходные параметры при увеличенной нагрузке

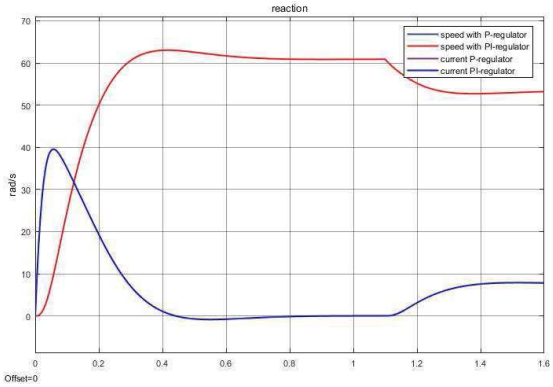

Рисунок 6 – Выходные параметры при начальной нагрузке

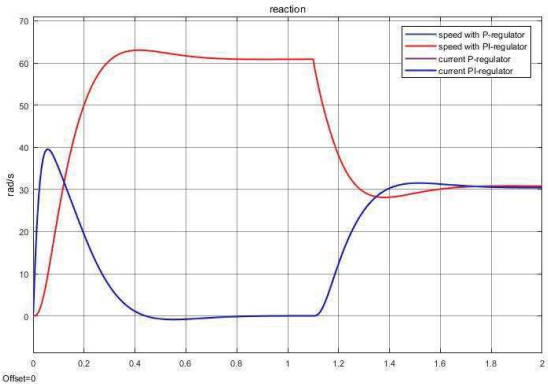

Рисунок 7 – Выходные параметры при увеличенной нагрузке

Системы подчиненного управления на сегодняшний день весьма актуальны поскольку не несут большой нагрузки на устройства анализа при этом увеличивают качество регулирования.

Как итог мы имеем следующее:

1) При использовании системы подчиненного управления с П и ПИД регуляторами мы имеем малый выигрыш в быстродействий и немного меньшие начальные токи, но при этом система плохо реагирует на изменение момента сопротивления.

2)При использовании системы подчиненного управления с ПИ и ПИД регуляторами мы имеем систему реагирующую на изменение параметров за счет чего рекомендуется использовать именно ее.

3)При использовании системы подчиненного управления с П и ПИД или ПИ и ПИД, но при этом имея ограничение по максимально допустимому току двигателя, видно, что система имеющая более простую структура выигрывает за счет одинаковости реакций системы.

УДК 684.5

Студ. А.А. Василевич, А. Н. Павловец
Науч. рук. доц. И.Ф. Кузьмицкий, доц.Жарский С.Е.
(кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники, БГТУ)

МЕТОД ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА

Функция Ляпунова представляет собой скалярную функцию, заданную на фазовом пространстве системы, с помощью которой можно доказать устойчивость положения равновесия. *Метод функций Ляпунова* применяется для исследования устойчивости различных дифференциальных уравнений и систем. Ниже мы ограничимся рассмотрением автономных систем

$$X' = f(X) \quad \text{или} \quad \frac{dx_i}{dt} = f_i(x_1, x_2, \ldots, x_n), \quad i = 1, 2, \ldots, n,$$

имеющих нулевое положение равновесия $X \equiv 0$.

Предположим, что в некоторой окрестности U начала координат задана непрерывно дифференцируемая функция

$$V(X) = V(x_1, x_2, \ldots, x_n).$$

Пусть V(X) > 0 для всех X $\in$ U \{0}, а в начале координат V(0) = 0. Такими функциями являются, например, функции вида

$$V(x_1, x_2) = ax_1^2 + bx_2^2, \quad V(x_1, x_2) = ax_1^2 + bx_2^4, \quad a, b > 0.$$

Найдем полную производную функции $V(X)$ по времени t:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x_1}\frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_2}\frac{dx_2}{dt} + \ldots + \frac{\partial V}{\partial x_n}\frac{dx_n}{dt}.$$

Это выражение можно записать в виде скалярного произведения двух векторов:

$$\frac{dV}{dt} = \left(\operatorname{grad} V, \frac{dX}{dt}\right), \quad \text{где} \quad \operatorname{grad} V = \left(\frac{\partial V}{\partial x_1}, \frac{\partial V}{\partial x_2}, \ldots, \frac{\partial V}{\partial x_n}\right), \quad \frac{dX}{dt} = \left(\frac{dx_1}{dt}, \frac{dx_2}{dt}, \ldots, \frac{dx_n}{dt}\right).$$