

**СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ДВУХМАССОВОЙ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С МАКСИМАЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ**

В процессе совершенствования динамических качеств электропривода инженеры проектировщики столкнулись с проблемой влияния упругости механических передач. Инерционные свойства механизма и податливость вала механической передачи оказывают негативные влияния на динамические процессы, показатели качества и надёжность оборудования, что не позволяет проектировать полноценные высокопроизводительные и надёжные механизмы без учёта влияния упругости.

Исследования влияния упругости механической передачи занимается много авторов научных разработок. В работе [1] автор указывает, что минимизировать колебательность электропривода можно выбором оптимальной жёсткости механической характеристики электродвигателя. В [2] авторы перестраивают регуляторы системы, а для синтеза используют наблюдатель состояния. Для крановых механизмов предлагается использование корректирующих связей [3]. Наиболее совершенной с точки зрения энергетических показателей, на наш взгляд, является использование принципа электромеханической совместимости [4], позволяющей компенсировать в динамике силы упругой связи силами инерционными [5] и стабилизировать АЧХ электроприводов механизмов с гармоническими возмущениями [6], в т.ч. дебалансных электромеханических вибровозбудителей.

Задачей данного исследования является разработка методики расчёта параметров П-регулятора скорости в одноконтурной САР или двухконтурной САР с подчинённым токовым контуром, настроенным на максимальное быстродействие. Как показывает анализ соотношений параметров электродвигателей и механизмов типового оборудования, для обеспечения максимального взаимодействия в большинстве случаев будет достаточно использования одноконтурной САР, обеспечивающей желаемые показатели качества – как временные, так и частотные.

Структурная схема исследуемой системы представлена на рисунке 1:

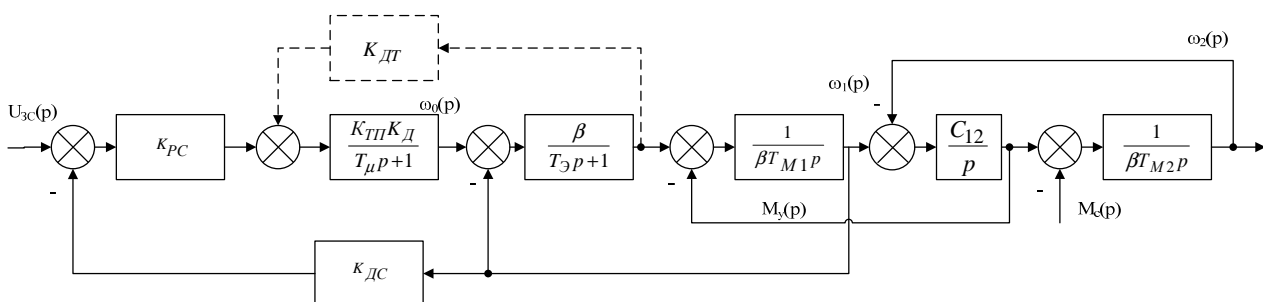


Рисунок 1 – Структурная схема исследуемой системы

Для упрощения расчётов инерционностью преобразователя пренебрегаем, полагая, что его быстродействия достаточно для надёжного отклика на все динамические процессы. Следует отметить, что настроить рассматриваемую САР на максимальную совместимость с помощью одного регулятора затруднительно. При анализе данной настройки, относительный коэффициент демпфирования механической подсистемы будет находиться в точке локального экстремума [5] в связи с тем, что с помощью регулятора производится коррекция постоянной  $T_{M1}$ . В таком случае предельная совместимость может быть достигнута только при выполнении тождеств

$$\begin{cases} K_{PC} = \frac{\gamma T_{\Delta} T_{M1} - T_{\Delta}^2}{T_{\Delta}^2 \kappa} \\ T_{\Delta} = \frac{T_{\Delta}}{2\sqrt{\gamma - 1}} \end{cases}, \tag{1}$$

где  $\kappa = K_{TP} K_D \beta K_{ДС}$  – коэффициент передачи разомкнутого контура обратной связи по скорости.

При значении постоянной  $T_{\Delta}$  отличающемся от значения в (1) появляется отстройка от точки предельной совместимости с появлением эффекта регламентации [7]. Охватить весь диапазон регламентации можно путём введения корректирующего токового контура на вход управляемого преобразователя, указанного на рис. 1 пунктирной линией, выполняющий коррекцию постоянной  $T_{\Delta}$ . Глубиной обратной связи этого контура, можно изменять коэффициент регламентации  $\epsilon$ , разгружая или наоборот, загружая до предельных режимов электродвигатель, выполняющий роль динамического гасителя колебаний.

Для определения коэффициентов  $K_{PC}$  и глубины обратной связи  $K_{DT}=K_{д}K_{от}$  полученный характеристический полином системы

$$Q(p) = \gamma \frac{T_{M1}}{\kappa K_{PC} + 1} T_{\Delta} T_{\gamma}^2 p^4 + \gamma \frac{T_{M1}(\kappa_i K_{DT} + 1)}{\kappa K_{PC} + 1} T_{\gamma}^2 p^3 + \gamma \left( \frac{T_{M1}}{\kappa K_{PC} + 1} T_{\Delta} + T_{\gamma}^2 \right) p^2 + \gamma \frac{T_{M1}(\kappa_i K_{DT} + 1)}{\kappa K_{PC} + 1} p + 1 \quad (2)$$

тождественно приравняем к эквивалентному полиному

$$Q_{\Delta}(p) = (T_0^2 p^2 + 2\xi_{\Delta} T_0 p + 1)(T_0^2 p^2 + 2\xi_M T_0 p + 1) = (T_0^2 p^2 + 2\xi_{\Delta} T_0 p + 1)(T_0^2 p^2 + 2\xi_M T_0 p + 1), \quad (3)$$

где  $\xi_{\Delta}$  – относительный коэффициент демпфирования электромагнитной подсистемы;

$\xi_M$  – относительный коэффициент демпфирования механической подсистемы.

Решая систему уравнений, получим выражения интересующих нас коэффициентов

$$\begin{cases} K_{PC} = \frac{\gamma T_{\Delta} T_{\Delta M1} - T_{\gamma}^2}{T_{\gamma}^2 \kappa} \\ K_{DT} = \frac{T_{\Delta} \sqrt{\frac{\gamma-1}{\varepsilon}} (\varepsilon + 1) - T_{\gamma}}{T_{\gamma} \kappa_i} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\kappa_i = K_{тп} K_{д\beta}$  – коэффициент передачи разомкнутого контура коррекции тока.

Данная система тождеств будет истинной при значениях параметров  $T_{\gamma} = T_0$  и коэффициенте демпфирования электромагнитной и механической подсистем

$$\xi_{\Delta} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\gamma-1}{\varepsilon}}; \xi_M = \frac{1}{2} \sqrt{\varepsilon(\gamma-1)}. \quad (5)$$

Подставляя значения (4) в исходный характеристический полином (2) получим корни полинома в случае электромеханической совместимости

$$p_{\Delta} = \frac{-\sqrt{\frac{\gamma-1}{\varepsilon}} \pm j \sqrt{\frac{4\varepsilon - \gamma + 1}{\varepsilon}}}{2T_{\gamma}}; p_M = \frac{-\sqrt{(\gamma-1)\varepsilon} \pm j \sqrt{\varepsilon - \gamma\varepsilon + 4}}{2T_{\gamma}} \quad (6)$$

Для колебательного процесса в подсистемах необходимо выполнение условия реализации регламентации, которое будет иметь диапазон значений параметра  $\varepsilon$

$$\frac{4}{\gamma-1} > \varepsilon > \frac{\gamma-1}{4}. \quad (7)$$

Также необходимо учитывать, что предельное демпфирование в механической подсистеме зависит от коэффициента  $\gamma$ , поэтому колебательный процесс в подсистемах будет возможен в случаях  $1 < \gamma < 5$ .

Особенностью использования настройки на электромеханическую совместимость является движение по окружности корневого годографа в левой полуплоскости комплексной плоскости, с сохранением среднегеометрического корня. Т.е. подсистемы будут иметь одинаковую собственную частоту, но могут иметь различные относительные коэффициенты демпфирования. Такая особенность позволяет воспроизводить все частные случаи настройки на типовые полиномы четвёртого порядка с симметричным расположением коэффициентов, меняя параметры  $\gamma$  любым методом (например, введением ГООС по скорости [8]) и  $\varepsilon$  посредством коэффициента  $K_{DT}$ , охватывая распределение Баттерворта и т.д.

Для представления исследуемой системы обобщённой электромеханической системой, обобщённые параметры таковой будут иметь вид:

Коэффициент взаимодействия

$$K_B = \frac{T_{M1} T_{\Delta}}{(1 + \kappa K_{PC}) T_{\gamma}^2}. \quad (8)$$

Коэффициент демпфирования электродвигателя будет равен

$$\xi_D = \frac{(1 + \kappa_i K_{DT}) \sqrt{\frac{T_{M1} T_{\Delta}}{(1 + \kappa K_{PC})}}}{2T_{\Delta}} \quad (9)$$

Использование пропорционального регулятора с настройкой на электромеханическое взаимодействие во многих случаях может заменить сложные многоконтурные системы. А в сочетании с регламентацией демпфирующего действия, такая настройка регулятора может быть универсальной для многих задач

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В. И. Ограничение динамических нагрузок электропривода / В. И. Ключев. – М.: Энергия, 1971. – 320 с.
2. Борцов Ю. А. Автоматизированный электропривод с упругими связями / Ю. А. Борцов, Г. Г. Соколовский. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 288 с.
3. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещёв. – Одесса: СМІЛ, 2008. – 192 с.
4. Задорожний Н. А. Анализ и синтез электромеханических систем управления приводом машин с упругими механическими связями: учеб. пособие по дисциплине «Теория электропривода» / Н. А. Задорожний, И. Н. Задорожня. – Краматорск: ДГМА, 2010. – 192 с.
5. Задорожний Н. А., Обухов А. Н., Пономарёв Д. С. Исследование влияния степени электромеханической связи на демпфирующее действие электропривода с упругими звеньями механических передач // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА, 2012. – № 4 (29). – С. 25-30
6. Пономарёв Д. С., Задорожний Н. А. Исследование степени электромеханического взаимодействия в электромеханических системах с упругими связями на основе частотных характеристик // Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 09-11 квітня 2013 р. – Кременчук, КрНУ, 2013. – С. 93-94.
7. Задорожний Н. А., Пономарёв Д. С. Исследование динамических свойств двухмассовой электромеханической системы по амплитудно-частотным характеристикам // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – Київ: «Техніка», 2011. – № (03) 79. – С. 105-109
8. Задорожний Н. А., Пономарёв Д. С. Формирование ачх электромеханической системы дебалансного вибровозбудителя на основе принципа электромеханической совместимости // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія й практика» науково-виробничого журналу – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 3/2012 (19). – С. 264-266