

# ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДЧИНЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

*Пушкин А.А., студент (магистр)*  
*Донбасская государственная машиностроительная академия*  
*г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, тел. 8(0626)41-68-93,*  
E-mail: [tem\\_jap@mail.ru](mailto:tem_jap@mail.ru)

**Введение.** Электрический привод – это электромеханическая система, которая предназначена для приведения в движение рабочих органов машин (агрегатов) и управления этим движением. Он является одним из крупнейших потребителей энергии во всех отраслях промышленности: им преобразуется в механическую энергию, более 60% всей вырабатываемой электроэнергии в мире. Значительным резервом энергосбережения является оптимизация процессов и динамических режимов в электроприводе с учетом свойств кинематических цепей (передач), которые необходимы для согласования механической энергии (скорости, момента) рабочего органа машины и электродвигателя.

Подавление упругих колебаний, возникающих в электроприводах при пуске и ударных нагрузках, существенно увеличит срок службы передаточных устройств, вызовет снижение динамических нагрузок, что приведет к уменьшению потребления энергии на бесполезные колебательные движения, а также уменьшит тепловые нагрузки двигателя и управляемого преобразователя.

**Анализ современного состояния вопроса.** На современном этапе, наиболее перспективным и рациональным способом подавления упругих колебаний в машиностроении является электротехнический, так как он прост в осуществлении, легко может использоваться для автоматизации любой электромеханической системы.

Решение данного вопроса рассматривается в ряде научных трудов. В работе [1] приведены обобщенные оценки влияния упругих звеньев механической передачи на качество линейных унифицированных автоматических систем регулирования. В статье [2] выведены зависимости, которыми необходимо пользоваться при настройке контуров регулирования тока и частоты вращения с целью демпфирования упругих колебаний в механической передаче. В [3] с использованием корневого годографа определены оптимальные параметры электрической части привода, при которых достигается предельное значение демпфирования упругих механических колебаний.

**Постановка задачи исследования.** Целью работы является оптимизация параметров двухмассовой электромеханической системы подчиненного регулирования с целью подавления упругих механических колебаний.

**Материалы исследования.** Исследовать будем двухмассовую электромеханическую систему подчиненного регулирования, функциональная схема которой представлена на рис.1.

В функциональной схеме приняты следующие обозначения:

$U_{\text{зад}}$  – напряжение задания;

Д – двигатель постоянного тока с моментом инерции ротора  $J_1$ ;

УП – управляемый преобразователь;

РТ – регулятор тока;

РС – регулятор скорости;

ДТ – датчик тока в цепи обратной связи по току;

ДС – датчик скорости в цепи обратной связи по скорости;

ТГ – тахогенератор для преобразования угловой скорости двигателя в пропорциональное ей напряжение;

$C_{12}$  – жесткость упругого звена;

МЧ – механическая часть с приведенным моментом инерции вращающихся частей  $J_2$ ;

LM – обмотка возбуждения двигателя.

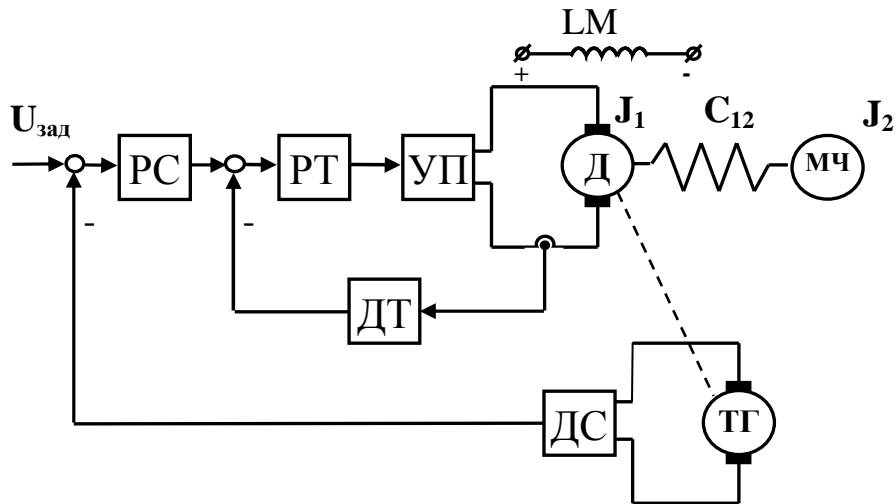


Рис. 1 – Функциональная схема двухмассовой электромеханической системы с подчиненным регулированием параметров

На основании функциональной схемы, изобразим структурную схему (смотри рис. 2)

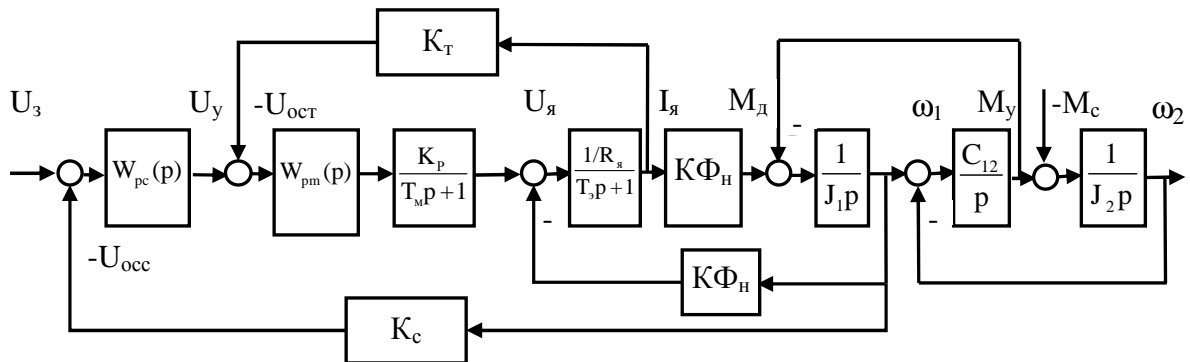


Рис. 2 – Структурная схема двухмассовой электромеханической системы с подчиненным регулированием параметров

В структурной схеме приняты следующие обозначения:

$W_1(p)$  – передаточные функции по управляющему воздействию;  $W_2(p)$  – передаточные функции по возмущающему воздействию;  $\omega_1$  – скорость двигателя;  $\omega_2$  – скорость механизма;  $U_3$  – напряжения задания;  $M_c$  – момент сопротивления на валу двигателя;  $\gamma$  – коэффициент распределения инерционных масс;  $\Omega_{12}$  – частота свободных колебаний;  $T_c$  – некомпенсированная постоянная времени контура регулирования скорости;  $T_T$  – некомпенсированная постоянная времени контура регулирования тока;  $K_c$  – коэффициент обратной связи по скорости;  $R_{яц}$  – суммарное сопротивление якорной цепи двигателя;  $K_{Фн}$  – коэффициент пропорциональности ЭДС скорости  $\omega_1$ .

На основании структурной схемы, исследование динамики процессов производим по передаточной функции по управляющему и возмущающему воздействию. Передаточные функции по управляющему и возмущающему воздействию имеют следующий вид:

$$W_1(p) = \frac{\omega_2(p)}{U_3(p)} = \frac{D(p)}{Q(p)} = \frac{1/K_c}{\frac{T_c T_T}{\Omega_{12}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma + T_c T_T \Omega_{12}^2}{\Omega_{12}^2} p^2 + T_c p + 1} \quad (1)$$

$$W_2(p) = \frac{\omega_2(p)}{M_c(p)} = \frac{R(p)}{Q(p)} = \frac{(R_{яц} / K \Omega_{12}^2) (T_T p + 1)}{\frac{T_c T_T}{\Omega_{12}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma + T_c T_T \Omega_{12}^2}{\Omega_{12}^2} p^2 + T_c p + 1} \quad (2)$$

Демпфирующие свойства электропривода определяется знаменателем передаточной функции – характеристическим уравнением:

$$Q(p) = \frac{T_c T_T}{\Psi_{\xi 2}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Psi_{\xi 2}^2} p^3 + \frac{\gamma + T_c T_T \Psi_{\xi 2}^2}{\Psi_{\xi 2}^2} p^2 + T_c p + 1 = 0 \quad (3)$$

Вид корней характеристического уравнения определяет характер переходных процессов в системе автоматического регулирования. Качество системы регулирования с точки зрения быстродействия, запаса устойчивости, демпфирующих свойств может характеризоваться расположением корней числителя и знаменателя передаточной функции замкнутой системы, т.е. расположением нулей и полюсов передаточной функции.

Для анализа вида корней передаточной функции будем использовать обобщенные параметры [4], которые применительно к рассматриваемой структурной схеме можно выразить как:

$$K_B = \frac{\Psi_{\xi 2}^2}{\Psi_{\xi}^2} = \frac{T_c T_T}{T_y^2} - \text{коэффициент электромеханического взаимодействия}; \quad (4)$$

$$o_d = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_c}{T_T}} - \text{коэффициент демпфирования}; \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1} - \text{коэффициент распределения инерционных масс}; \quad (6)$$

Совместное рассмотрение выражений (4) и (5) дает соотношение взаимосвязи параметров отдельных электрической и механической подсистем.

$$T_y = \frac{1}{\Omega_{12}} - \text{постоянная времени упругих колебаний};$$

$$T_c = \frac{2\sqrt{K_B} \xi_d}{\Omega_{12}} - \text{некомпенсируемая постоянная времени контура скорости};$$

$$T_T = \frac{\sqrt{K_B}}{2o_d \Psi_{\xi 2}} - \text{некомпенсируемая постоянная времени контура тока};$$

После подстановки соотношений для обобщенных параметров в характеристическое уравнение (3) получаем его в нормированном виде.

$$Q(p) = K_B T_y^4 p^4 + 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y^3 p^3 + (\gamma + K_B) T_y^2 p^2 + 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y p + 1 \quad (7)$$

Максимальное демпфирование в электроприводе достигается при электромеханическом взаимодействии и полной идентичности колебаний в электрической и механической подсистемах.

Свободное движение ЭМС представляем уравнением вида:

$$Q_1(p) = (T_y^2 p^2 + 2\xi_{\xi 3} T_y p + 1) \cdot (T_y^2 p^2 + 2\xi_{\xi M} T_y p + 1), \quad (8)$$

Раскрыв скобки получим:

$$Q_1(p) = T_y^4 p^4 + 2T_y^3 (\xi_{\xi M} + \xi_{\xi 3}) p^3 + T_y^2 (2 + 4\xi_{\xi M} \xi_{\xi 3}) p^2 + 2T_y (\xi_{\xi M} + \xi_{\xi 3}) p + 1, \quad (9)$$

где  $\xi_{\xi 3}, \xi_{\xi M}$  - коэффициенты демпфирования колебаний в электрической и механической подсистемах соответственно.

Совместное решение уравнений (8) и (9) дает следующие соотношения:

$$1) K_B T_y^4 = T_y^4; \quad 2) 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y^3 = 2T_y^3 (\xi_{\xi M} + \xi_{\xi 3}); \quad 3) T_y^2 (\gamma + K_B) = T_y^2 (2 + 4\xi_{\xi M} \xi_{\xi 3})$$

$$4) 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y = 2T_y (\xi_{\xi M} + \xi_{\xi 3})$$

Тождественность данных соотношений выполняется при условиях:

$$1) K_B = 1; \quad 2) \xi_d = \xi_{\xi M} + \xi_{\xi 3}; \quad 3) \xi_{\xi M} \xi_{\xi 3} = (\gamma - 1) / 4 \quad (10)$$

Подстановка  $\xi_3 = \xi_M$  дает нам соотношения для обобщенных параметров при предельном демпфировании:

$$K_B^* = 1, \quad \xi_D^* = \sqrt{\gamma - 1} \quad (11)$$

При выполнении данных условий достигается предельное значение демпфирования колебаний в ЭМС. Из выражения (11) следует, что в ЭМС обеспечивается предельное демпфирование упругих колебаний в электрической и механической подсистемах с максимально возможным значением коэффициента демпфирования:  $\xi^* = \xi_3 = \xi_M = (\gamma - 1)^{0.5} / 2$ . Показатель колебательности ЭМС принимает минимальное значение:  $\mu^* = \mu_{\min} = ((5 - \gamma) / (\gamma - 1))^{0.5}$ . Максимальный логарифмический декремент затухания:  $\lambda^* = 2\pi((\gamma - 1) / (5 - \gamma))^{0.5}$ .

Для наглядности проиллюстрируем взаимосвязь параметров через зависимости  $\lambda = f(\gamma)$ ;  $\lambda = f(\xi_D)$ , которые изображены на рисунках 3-4.

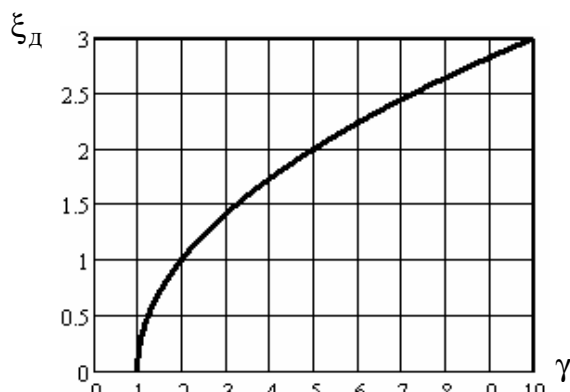


Рис.3 – График зависимости  $\xi_D = f(\gamma)$

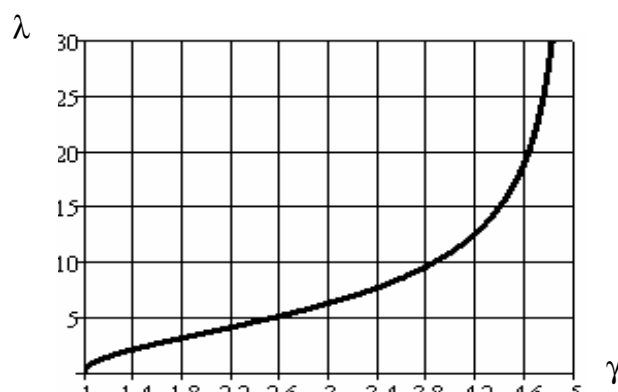


Рис.4 – График зависимости  $\lambda = f(\gamma)$

Из графических изображений видно, что с увеличением коэффициент распределения инерционных масс ( $\gamma$ ) – увеличивается логарифмический декремент затухания ( $\lambda$ ) и коэффициент демпфирования ( $\xi_D$ ).

Полученные результаты были проверены путем моделирования на ЭВМ полной системы уравнений процессов в ЭМС с параметрами при которых достигается предельное демпфирование.

**Выводы.** С помощью аналитических методов определили оптимальные параметры системы управления с целью достижения минимума колебательности. Осуществлена проверка выбранных значений параметров на основе математической модели. Данные методы позволяют оптимизировать систему и могут быть использованы на производстве.

### Литература

1. Борцов Ю. А. Соколовский Г. Г. Тиристорные системы электропривода с упругими звеньями. Л.: Энергия, 1979. – 160 с.
2. Земляков В. Д. Исследование динамики электроприводов прокатных станков с учетом упругости и нелинейности элементов/ В. Д. Земляков, Н. А. Задорожний// Электротехника. – 1982. - №10. – С 18-21.
3. Пушкин А. А. Исследование влияния параметров системы автоматического управления на демпфирование упругих колебаний в электроприводе. – Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»/Днепродзержинск: ДГТУ, 2007 – С.573 – 574.
4. Земляков В. Д., Задорожний Н. А. О демпфировании электроприводом постоянного тока упругих электромеханических колебаний. – Изв.вузов. Электромеханика, 1984. - № 5. – С.92 – 98.
5. Пушкин А.А. Определение путей достижения минимума колебательности в электроприводе с упругими связями. – Электротехника и электромеханика: Материалы Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых с международным участием. – Николаев: НУК, 2007. – С. 77-82.