

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ ДОСТИЖЕНИЯ МИНИМУМА КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ С УПРУГИМИ СВЯЗЯМИ

Пушкин А.А., студент

Задорожний Н.А., к.т.н., доцент

Украина, Донбасская государственная машиностроительная академия

Особенностью развития современного электропривода является интенсивное повышение технологических требований к динамическим и точностным показателям электропривода, расширение и усложнение его функций, связанных с управлением технологическими процессами. Возникла необходимость более полного учета взаимодействия электропривода с приводными механизмами, содержащими упругие связи. Известны технологические, конструкционные и другие виды приемов. В [1] проанализирован вариант применения, в приводах машин, механических демпфирующих устройств, которые как правило, сложны в изготовлении и наладке. Одним из вариантов является изменение коэффициента распределения инерционных масс γ за счет выбора передаточного числа редуктора и номинальной скорости электродвигателя [2]. С помощью корневого годографа и аналитических методов определим оптимальные параметры системы автоматического управления для достижения минимума колебательности.

Целью работы является исследование путей достижения минимума колебательности в электроприводе с упругими связями.

Исследовать будем электропривод, с двигателем постоянного тока независимого возбуждения. Структурная схема для общепринятых обозначений приведена на рис.1.

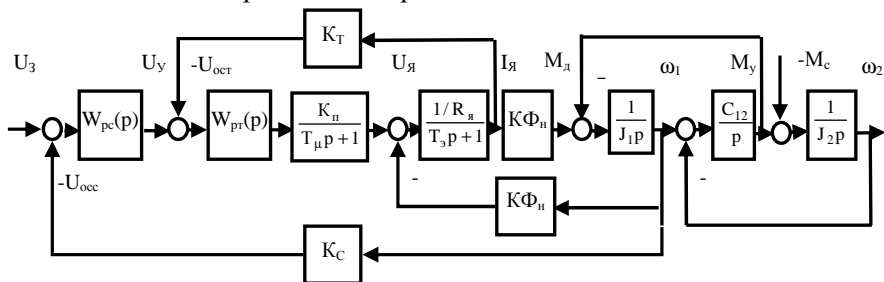


Рис.1 – Структурная схема электропривода с учетом упругих сил

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

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

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

где $W_1(p)$ – передаточная функция по управляющему воздействию; $W_2(p)$ – передаточная функция по возмущающему воздействию; ω_1 – скорость двигателя; ω_2 – скорость механизма; U_3 – напряжение задания; M_c – момент сопротивления на валу двигателя; γ – коэффициент распределения инерционных масс; Ω_{12} – частота свободных колебаний; T_c – некомпенсируемая постоянная времени контура регулирования скорости; T_T – некомпенсируемая постоянная времени контура регулирования тока; K_c – коэффициент обратной связи по скорости; $R_{яц}$ – суммарное сопротивление якорной цепи двигателя; $K\Phi_H$ – коэффициент пропорциональности ЭДС скорости ω_1 .

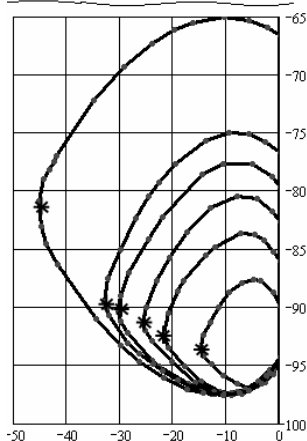
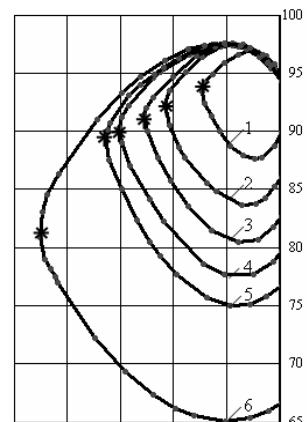
Демпфирующие свойства электропривода определяется знаменателем передаточной функции – характеристическим уравнением:

$$Q(p) = \frac{T_c T_T}{\Omega_{12}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma + T_c T_T \Omega_{12}^2}{\Omega_{12}^2} p^2 + T_c p + 1 \quad (3)$$

Вид корней характеристического уравнения определяет характер переходных процессов в системе автоматического регулирования, который зависит от параметров: γ , Ω_{12} , T_c , T_T .

При расчете данной регулируемой системы проследим, как меняется общая картина расположения корней при изменении постоянных времени корректирующих цепей (T_c и T_T), с целью установления оптимальных значений этих параметров. При плавном изменении значения этих параметра корни перемещаются на плоскости корней, очерчивая некоторую кривую, которая называется корневым годографом или траекторией корней. На рис.2. показаны траектории корней на комплексной плоскости для определённых γ и при неизменной $\Omega_{12}=94,25c^{-1}$. Оптимальное распределение корней будет такое, когда

время регулирования или длительность переходных процессов t_p и коэффициент демпфирования ξ в электроприводе будет одинаковым как в электрической, так и в механической подсистемах.



- 1 - $\gamma=1,1$; 2 - $\gamma=1,2$;
- 3 - $\gamma=1,3$; 4 - $\gamma=1,4$;
- 5 - $\gamma=1,5$; 6 - $\gamma=2$

Рис.2 – Траектория корней на комплексной плоскости

На рис.2. * показаны оптимальные распределения корней, когда они являются комплексно-сопряженными кратными. Физически это означает, что энергия упругих механических колебаний выводится из механической части и синхронно рассеивается или возвращается в сеть электрической частью.

Из анализа траектории, путем вариации параметров, на основании метода проб и ошибок, получаем следующие соотношения оптимальных параметров, при которых достигается максимальное электромеханическое демпфирование упругих колебаний электропривода: 1) $\gamma=1,1$ – $T_c=1,34T_m$, $T_T=3,36T_m$; 2) $\gamma=1,2$ – $T_c=1,88T_m$, $T_T=2,41T_m$; 3) $\gamma=1,3$ – $T_c=2,32T_m$, $T_T=1,94T_m$; 4) $\gamma=1,4$ – $T_c=2,68T_m$, $T_T=1,69T_m$; 5) $\gamma=1,5$ – $T_c=3T_m$, $T_T=1,5T_m$; 6) $\gamma=2$ – $T_c=4,24T_m$, $T_T=1,06T_m$.

Проверку выбранных оптимальных значений параметров исследуемых переходных процессов по затухающим колебаниям произведем на математической модели в среде пакета Mathcad на основании структурной схемы (см. Рис.1). На осциллограммах машинного расчета приведем графики переходных процессов (см Рис.3). Данные процессы являются оптимальными для соответствующих систем, которые настроены на минимум колебательности.

Однако построение корневых годографов довольно сложное и требует необходимых навыков, по ним невозможно судить о характере взаимодействия механической и электрической подсистем. Все эти недостатки можно устранить путем использования нормиро-

ванной формы записи характеристического уравнения с обобщенных показателей, на основании которых можно судить о реальной взаимосвязи параметров электрической и механической подсистем.

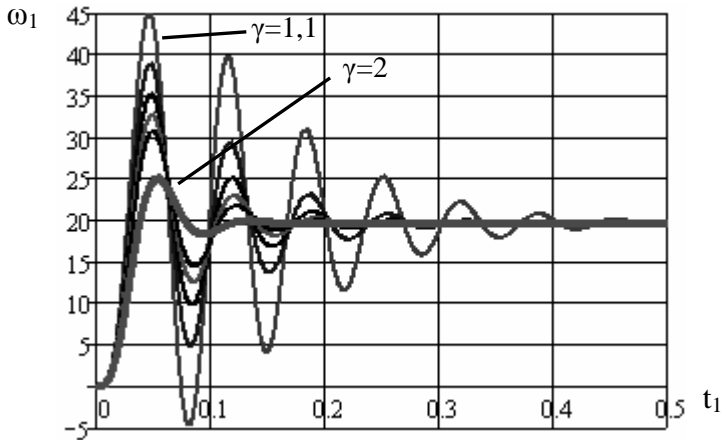


Рис.3. График изменения скорости в электроприводе

Для анализа вида корней передаточной функции будем использовать обобщенные параметры [3], которые применительно к рассматриваемой структурной схеме можно выразить как:

1. $K_B = \Omega_{12}^2 / \Omega_3^2 = T_c T_T / T_y^2$ – коэффициент электромеханического взаимодействия (4);

2. $\xi_d = 0,5 \cdot (T_c / T_T)^{0,5}$ – коэффициент демпфирования (5);

3. $\gamma = (J_1 + J_2) / J_1$ – коэффициент распределения инерционных масс (6);

Совместное рассмотрение выражений (4) и (5) дает соотношение взаимосвязи параметров отдельных электрической и механической подсистем: $T_y = 1 / \Omega_{12}$ – постоянная времени упругих колебаний;

$T_c = (2K_B^{0,5} \xi_d) / \Omega_{12}$ – некомпенсируемая постоянная времени контура регулирования скорости; $T_T = K_B^{0,5} / 2\xi_d \Omega_{12}$ – некомпенсируемая постоянная времени контура регулирования тока;

После подстановки соотношений для обобщенных параметров в характеристическое уравнение (3) получаем его в нормированном виде: $Q(p) = K_B T_y^4 p^4 + 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y^3 p^3 + (\gamma + K_B) T_y^2 p^2 + 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y p + 1$ (7)

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

Свободное движение ЭМС представляем уравнением вида:

$$Q_1(p) = (T_y^2 p^2 + 2\xi_3 T_y p + 1) \cdot (T_y^2 p^2 + 2\xi_M T_y p + 1), \quad (8)$$

Раскрыв скобки получим:

$$Q_1(p) = T_y^4 p^4 + 2T_y^3 (\xi_M + \xi_3) p^3 + T_y^2 (2 + 4\xi_M \xi_3) p^2 + 2T_y (\xi_M + \xi_3) p + 1, \quad (9)$$

где ξ_3, ξ_M - коэффициенты демпфирования колебаний в электрической и механической подсистемах соответственно.

Совместное решение уравнений (8) и (9) дает следующие соотношения: 1) $K_B T_y^4 = T_y^4$; 2) $2\sqrt{K_B} \xi_d T_y^3 = 2T_y^3 (\xi_M + \xi_3)$;

$$3) T_y^2 (\gamma + K_B) = T_y^2 (2 + 4\xi_M \xi_3); \quad 4) 2\sqrt{K_B} \xi_d T_y = 2T_y (\xi_M + \xi_3) \quad (10)$$

Тождественность данных соотношений выполняется при следующих условиях: $K_B=1$; $\xi_d = \xi_M + \xi_3$; $\xi_M \xi_3 = (\gamma - 1)/4$; $\xi_d = (\gamma - 1)^{0.5}$ (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: $\lambda^* = 2\pi((\gamma - 1)/(5 - \gamma))^{0.5}$.

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

С помощью корневого годографа и аналитического методов определили оптимальные параметры системы управления с целью достижения минимума колебательности. Данные методы позволяют оптимизировать систему и могут быть использованы на практике.

Литература

1. Смирнов В.В. Механика привода прокатных станов. – М.: Металлургия, 1977. – 216 с.
2. Иванченко Ф.К. Механика привода технологических машин. – Киев: Выща школа, 1986. – 152 с.
3. Земляков В.Д., Задорожний Н.А. О демпфировании электроприводом постоянного тока упругих электромеханических колебаний. – Изв.вузов. Электромеханика, 1984. - № 5. – С.92 – 98.