

## КОРРЕКЦИЯ САР СКОРОСТИ ПРИ НАЛИЧИИ УПРУГОЙ СВЯЗИ ДВИГАТЕЛЯ С МЕХАНИЗМОМ И МАЛЫХ КОЭФФИЦИЕНТАХ СООТНОШЕНИЯ ИНЕРЦИОННЫХ МАСС

*Аннотация:* Рассмотрены способы снижения колебаний в системе подчиненного регулирования скорости двигателя при наличии упругой связи двигателя с механизмом и малых значениях коэффициента инерции. Показана возможность устранения колебаний скорости исполнительного органа. Определены области применения корректирующей связи по производной от скорости исполнительного органа и корректирующей связи по разности скоростей двигателя и исполнительного органа.

*Ключевые слова:* системы подчиненного регулирования, управление скоростью, корректирующие связи, двухмассовая система, упругая связь, демпфирование колебаний.

При малых значениях коэффициента инерции ( $\gamma < 5.8$ ) добиться существенного демпфирования колебаний без значительного снижения быстродействия только за счет выбора параметров регулятора скорости невозможно [3]. Рассмотрим наиболее эффективные виды корректирующих связей.

### Корректирующая связь по производной от скорости исполнительного органа (ИО)

Введем на вход системы регулирования сигнал по производной от скорости исполнительного органа (ИО). Проанализируем возможности данного способа коррекции, считая, что осуществляется идеальное дифференцирование. Структурная схема САР скорости в этом случае примет вид (рисунок 1):

Определим передаточную функцию замкнутой САР скорости по управлению и нормируем ее по Вышнеградскому.

Коэффициенты Вышнеградского  $A$  и  $B$  определяются:

$$A = \sqrt[3]{\frac{k_{pc}^2 T_c (\gamma - 1)}{T_{m1}}} \quad (1)$$

$$B = \left( \gamma + \frac{T_{oc} k_{pc}}{T_{m1}} \right) \sqrt[3]{\frac{T_{m1}}{k_{pc}^2 T_c (\gamma - 1)}} \quad (2)$$

В этом случае

$$AB = \gamma + \frac{T_{oc} k_{pc}}{T_{m1}} \quad (3)$$

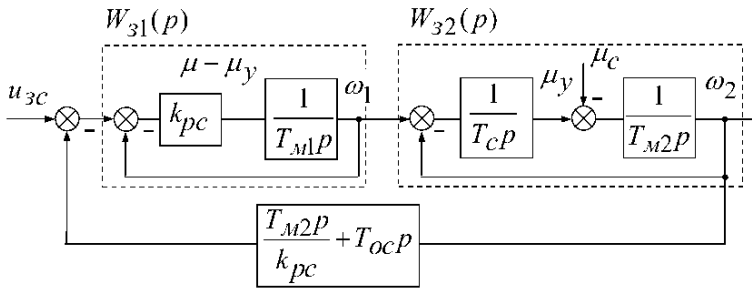


Рис. 1 – Структурная схема САР скорости двухмассовой модели электропривода при наличии корректирующей связи по производной от скорости ИО.

где  $T_{m1}$  и  $T_{m2}$  – соответственно, электромеханические постоянные времени, обусловленные инерцией первой и второй масс;  $T_c$  – постоянная времени жесткости кинематических связей;  $\gamma = \frac{T_{m2} + T_{m1}}{T_{m1}}$  – коэффициент инерции,  $k_{pc}$  – коэффициент усиления регулятора скорости.

Из выражения (3) следует, что введение гибкой обратной связи по производной, эквивалентно увеличению коэффициента инерции. Следовательно, при небольших значениях  $\gamma$  можно, вводя обратную связь по производной от скорости ИО, получить переходной процесс по управлению с демпфированием  $\xi_o = 0.707$ , хотя в нескорректированной системе движение вала ИО имеет колебательный характер.

Для обеспечения переходного процесса с демпфированием  $\xi_o = 0.707$ , необходимо выбирать  $T_{oc}$  и  $k_{pc}$  так, чтобы рабочей точкой стала точка на пересечении линий  $A = B$  и  $AB = \gamma_o = 5.8$  (точка  $b$  на плоскости диаграммы Вышнеградского [3]).

В этом случае коэффициент усиления:

$$k_{pc} = \sqrt{\frac{T_{m1}\gamma_o\sqrt{\gamma_o}}{T_c(\gamma - 1)}}. \tag{4}$$

Постоянная времени  $T_{oc}$  с учетом  $AB = \gamma_o$  определится:

$$T_{oc} = \frac{\gamma_o - \gamma}{\sqrt{\frac{\gamma_o\sqrt{\gamma_o}}{T_{m1}T_c(\gamma - 1)}}}. \tag{5}$$

Выбор  $k_{pc}$  и  $T_{oc}$  в соответствии с (4) и (5) позволяет обеспечить в двухмассовой САР скорости с упругой связью переходные процессы с демпфированием  $\xi_o = 0.707$  при малых значениях  $\gamma$ .

На рисунке 2 показаны кривые изменения скорости ИО при отсутствии и наличии корректирующей связи по производной от скорости исполнительного органа для  $\gamma_o = 5.8$ ,  $\xi_o = 0.707$ .

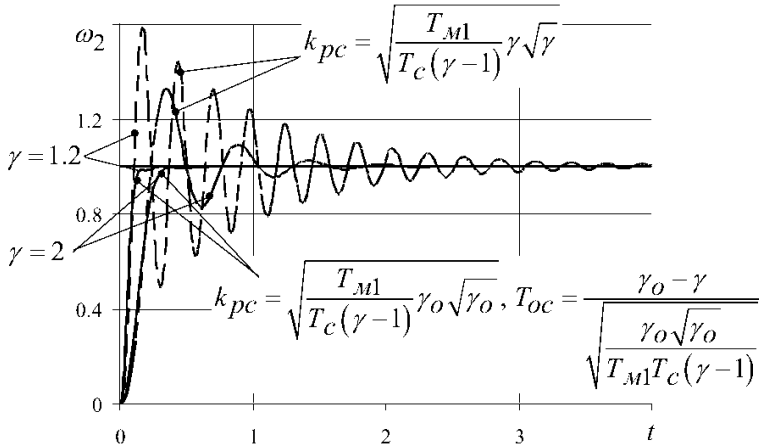


Рис. 2 – Изменение скорости ИО при введении корректирующей связи по производной от скорости ИО.

После введения обратной связи по производной от скорости ИО (рисунок 2) колебания скорости исполнительного органа отсутствуют. Это обусловлено введением в цепь обратной связи звена  $\frac{T_{ocp}}{0.1T_{ocp}+1}$ , поскольку реализация чистого дифференцирующего звена  $T_{ocp}$  невозможна. При необходимости настройки системы регулирования на модульный оптимум необходимо увеличить коэффициент усиления регулятора скорости  $k_{pc}$ .

### Корректирующая связь по разности скоростей двигателя и исполнительного органа

Введем на вход системы регулирования сигнал, пропорциональный разности скоростей двигателя и приведенной к двигателю скорости исполнительного органа. Проанализируем возможности данного способа коррекции.

Структурная схема САР скорости в этом случае примет вид (рисунок 3):

Определим передаточную функцию замкнутой САР скорости по управлению и нормируем ее по Вышнеградскому.

Коэффициенты Вышнеградского  $A$  и  $B$ :

$$A = (1 + k_{oc}) \sqrt[3]{\frac{k_{pc}^2 T_c (\gamma - 1)}{T_{M1}}}. \quad (6)$$

$$B = \gamma \sqrt[3]{\frac{T_{M1}}{k_{pc}^2 T_c (\gamma - 1)}}. \quad (7)$$

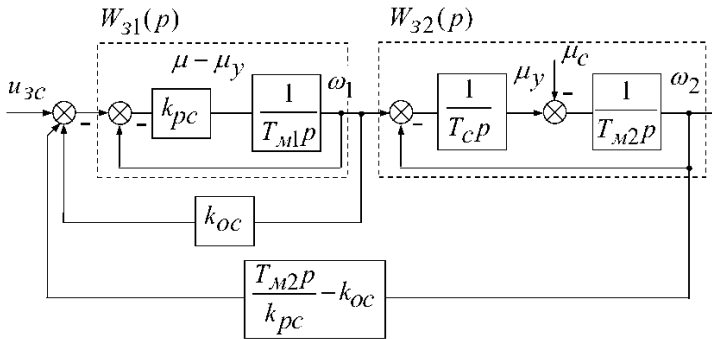


Рис. 3 – Структурная схема САР скорости двухмассовой модели электропривода и обратной связи по разности скоростей двигателя и ИО.

В этом случае

$$AB = \gamma (1 + k_{oc}). \quad (8)$$

Из выражения (3) следует, что введение на вход регулятора скорости сигнала, пропорционального разности скоростей двигателя и приведенной к двигателю скорости ИО, приводит к эффекту, эквивалентному увеличению коэффициента инерции. Следовательно, при небольших значениях  $\gamma$  можно, вводя обратную связь по разности скоростей двигателя и ИО, получить переходной процесс по управлению с демпфированием  $\xi_s = 0.707$ , хотя в нескорректированной системе движение вала исполнительного органа имеет колебательный характер.

Для обеспечения переходного процесса, с демпфированием  $\xi_s = 0.707$ , необходимо выбирать  $k_{oc}$  и  $k_{pc}$  так, чтобы рабочей точкой стала точка на пересечении линий  $A = B$  и  $AB = \gamma_o = 5.8$  (точка  $b$  на плоскости диаграммы Вышнеградского [3].

В этом случае коэффициент усиления:

$$k_{pc} = \gamma \sqrt{\frac{\gamma T_{M1}}{T_c (\gamma - 1) \gamma_o \sqrt{\gamma_o}}}. \quad (9)$$

Коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи по скорости определится:

$$k_{oc} = \frac{\gamma_o - \gamma}{\gamma}. \quad (10)$$

Выбор  $k_{pc}$  и  $k_{oc}$  в соответствии с (9) и (10) позволяет настроить двухмассовую САР скорости с упругой связью на модульный оптимум при малых значениях  $\gamma$ .

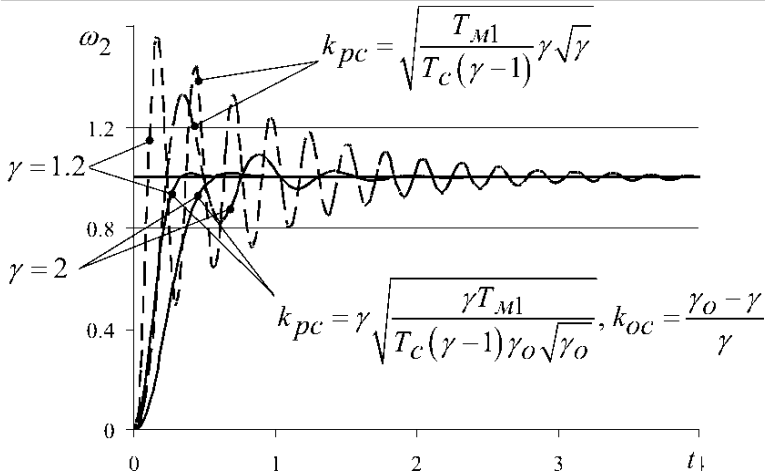


Рис. 4 – Изменение скорости ИО при введении на вход регулятора скорости сигнала, пропорционального разности скорости двигателя и приведенной к двигателю скорости ИО.

На рисунке 4 показаны кривые изменения скорости исполнительного органа при введении на вход регулятора скорости сигнала, пропорционального разности скорости двигателя и приведенной к двигателю скорости исполнительного органа для  $\gamma_0 = 5.8$ .

### Выводы

- Введение на вход системы регулирования как гибкой обратной связи по производной от скорости ИО, так и обратной связи по разности скоростей двигателя и ИО позволяет устранить колебания скорости исполнительного органа.
- Обратная связь по разности скоростей двигателя и ИО предпочтительна в случаях малого момента нагрузки. Это обусловлено тем, что коэффициент усиления регулятора скорости обратно пропорционален настроечному коэффициенту инерции  $\gamma_0$ . Уменьшение  $k_{pc}$  равнозначно увеличению статической ошибки.
- Гибкая обратная связь по производной от скорости ИО целесообразна при больших значениях момента нагрузки. При использовании данной связи коэффициент усиления регулятора скорости прямо пропорционален настроечному коэффициенту инерции  $\gamma_0$ . Следовательно, ошибка по возмущению в данном случае будет значительно меньше, а быстродействие выше, чем при использовании обратной связи по разности скоростей двигателя и ИО.

### **Библиографический список**

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982.– 392 с.
2. Ключев В.И. Ограничение динамических нагрузок электропривода. М., Энергия, 1971. – 320 с.
3. Зворыкин В.Б., Станциц Г.Ю. Управление скоростью двигателя при наличии упругой связи с механизмом // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 6(83). – Днепропетровск, 2012. с. 1–6.

*Отримано 21.02.2013*