

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМПЕНСАЦИИ ЗАПАЗДЫВАНИЯ В КОНТУРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦИФРОВЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ

Минтус А.Н.

Донецкий государственный технический университет

swet@fcita.dn.ua

*In this work was examined the influence of different ways of lateness compensation in speed regulation loop onto digital combined systems of position regulation dynamic properties. It's fixed, that lateness compensation is an effective method of quick-action increasing.*

Одним из способов решения задачи точного позиционирования является применение задающих устройств (ЗУ), реализующих на входе контура регулирования положения (КРП) с линейным регулятором положения управляющее воздействие (желаемый закон изменения положения), сформированное с учетом требуемых ограничений на ускорение и скорость двигателя, а повышение точности его обработки возможно на основе реализации комбинированного управления.

Эффективность комбинированного управления для повышения быстродействия позиционных электроприводов постоянного тока с непосредственным цифровым управлением показана в [1]. Дальнейшее улучшение динамических свойств цифровых комбинированных систем регулирования положения (СРП) возможно на основе компенсации запаздывания, которым неизменно сопровождается процесс регулирования в цифровых системах. Это позволяет устранить влияние запаздывания на процессы в замкнутом контуре регулирования и осуществить настройку последнего на более высокое быстродействие.

В [2] рассмотрены способы реализации импульсной коррекции запаздывания в двукратноинтегрирующем контуре регулирования скорости (КРС), позволяющие осуществить компенсацию запаздывания в КРС без нарушения его астатических свойств по возмущающему воздействию. Проведем оценку влияния компенсации запаздывания в контуре скорости на динамические свойства комбинированной системы регулирования положения (СРП) с двукратноинтегрирующим КРС путем сравнения динамических показателей систем с учетом запаздывания в КРС и при различных способах его компенсации.

Расчетная структурная схема цифровой комбинированной СРП приведена на рис. 1.

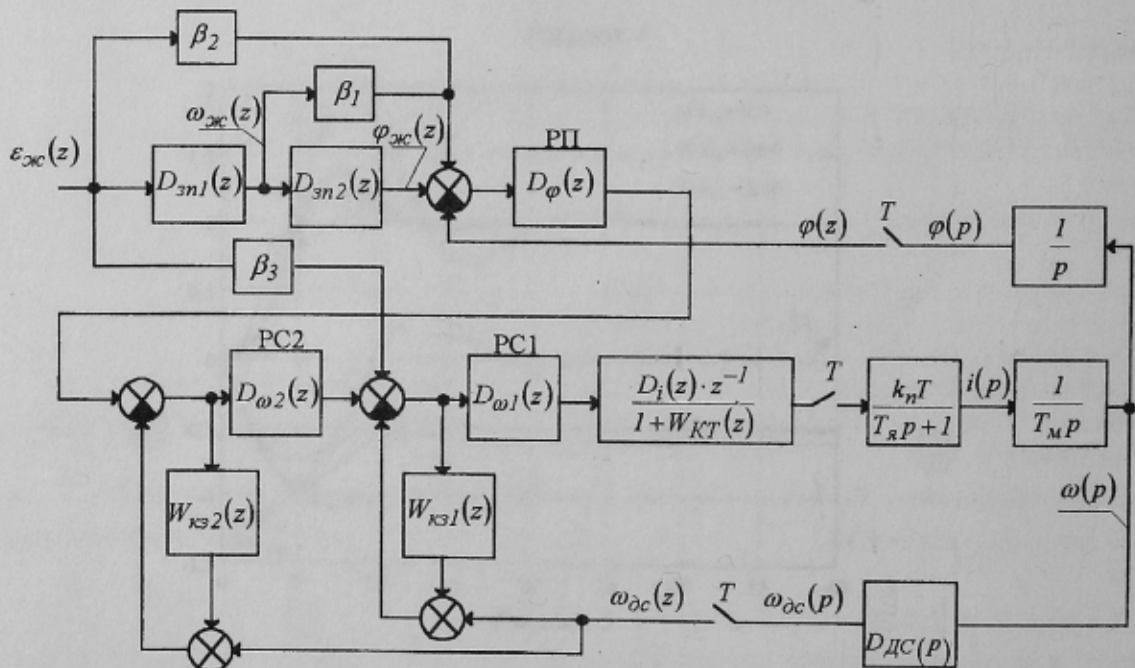


Рисунок 1- Расчетная структурная схема цифровой комбинированной СРП

Желаемый закон изменения положения формируется задающим устройством (ЗУ), линейная часть которого представлена двумя интегрирующими звеньями

$$D_{\text{зн}1}(z) = \frac{T}{z-1}, \quad D_{\text{зн}2}(z) = \frac{Tz+1}{2z-1}.$$

На вход первого интегратора подается сигнал, пропорциональный желаемому ускорению  $\varepsilon_{\text{ж}}$ , а его выходом является сигнал, пропорциональный желаемому изменению скорости  $\omega_{\text{ж}}$ . Этот сигнал поступает на вход второго интегратора, на выходе которого и формируется желаемый закон изменения положения  $\varphi_{\text{ж}}$ . Комбинированное управление достигается введением корректирующих связей с коэффициентами  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ .

Передаточная функция регулятора положения (РП) определяется по выражению

$$D_{\varphi}(z) = \frac{1}{T\tau_n},$$

где

$T$  - период квантования, равный периоду дискретности вентильного преобразователя,

$\tau_n$  - относительная постоянная интегрирования разомкнутого КРП.

Контур регулирования скорости представлен в виде двух контуров: внутреннего - с пропорциональным регулятором скорости (РС1) и внешнего - с интегральным регулятором скорости (РС2). Передаточные функции РС1 и РС2 имеют вид

$$D_{\omega 1}(z) = \frac{T_m}{T\tau_{c1}}, \quad D_{\omega 2}(z) = \frac{z}{\tau_{c2}(z-1)},$$

где

$T_m$  - электромеханическая постоянная времени привода,

$\tau_{c1}$  и  $\tau_{c2}$  - соответственно относительные постоянные интегрирования разомкнутых внутреннего и внешнего КРС.

В канале обратной связи по скорости используется датчик среднего значения скорости с передаточной функцией

$$D_{\text{ДС}}(p) = \frac{1 - e^{-Tp}}{Tp}.$$

Контур регулирования тока (КРТ) настроен согласно рекомендациям [3] и запаздывание в нем компенсировано средствами импульсной коррекции. На рис.1 КРТ представлен передаточной функцией от выхода РС1 до выхода регулятора тока (РТ), в которой передаточные функции РТ и разомкнутого КРТ, полученные без учета чистого запаздывания, соответственно равны

$$D_i(z) = \frac{1}{k_n} \cdot \frac{1-d_{\text{жк}}}{1-d_i} \cdot \frac{z-d_i}{z-1}, \quad W_{\text{КТ}}(z) = \frac{1-d_{\text{жк}}}{z-1},$$

где

$d_{\text{жк}} = e^{-T/T_{\text{жк}}}$ ,  $d_i = e^{-T/T_{\text{я}}}$ ,  $T_{\text{жк}}$  - постоянная времени экспоненты желаемого изменения среднего значения тока,  $T_{\text{я}}$  - электромагнитная постоянная времени якорной цепи,  $k_n$  - коэффициент усиления вентильного преобразователя.

На структурной схеме рис.1 приведены также звенья импульсной коррекции запаздывания  $W_{\text{кз}1}(z)$  и  $W_{\text{кз}2}(z)$ , которые содержат в своей структуре модель соответствующего разомкнутого контура регулирования скорости и формируют незапаздывающий и запаздывающий на такт сигналы, эквивалентные сигналу обратной связи. Знаки этих сигналов выбираются так, чтобы компенсировать запаздывающую обратную связь и ввести смоделированный сигнал обратной связи без запаздывания. Передаточные функции корректирующих звеньев получены в [2] и определяются по выражениям

$$W_{\text{кз}1}(z) = \frac{1-d_{\text{жк}}}{\tau_{c1}} \cdot \frac{\left(\frac{1}{1-d_i} - \frac{T_{\text{я}}}{T}\right)(z-\lambda_1)}{z(z-d_{\text{жк}})}, \quad (1)$$

$$W_{\text{кз}2}(z) = \frac{\lambda_2}{\tau_2} \cdot \frac{z(z-\lambda_1)}{z^3 + z^2(\lambda_2 - 1 - d_{\text{жк}}) + z(d_{\text{жк}} - \lambda_1\lambda_2)}, \quad (2)$$

где

$$\lambda_1 = \frac{d_i T - T_{\text{я}}(1-d_i)}{T - T_{\text{я}}(1-d_i)}, \quad \lambda_2 = \frac{(1-d_{\text{жк}})}{\tau_{c1}} \cdot \left(\frac{1}{1-d_i} - \frac{T_{\text{я}}}{T}\right).$$

Рассмотрим различные способы построения системы и приведем параметры настройки, полученные из условия обеспечения модульного оптимума.

1. Запаздывание учитывается в КРС.  $W_{кз1} = W_{кз2} = 0$ .

$$f = 1 + \frac{2}{1-d_{жс}}, \tau_{c1} = \frac{1}{2} \left( f + 1 + \sqrt{(f+1)^2 + 1} \right), \tau_{c2} = \frac{1}{2} \left( 2\tau_{c1} - 1 + \sqrt{(2\tau_{c1} - 1)^2 + 1} \right), \tau_n = 2\tau_{c2} - 1,$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_1'^2 - 2\beta_2' &= 2 \\ \beta_2'^2 - 2\beta_1'\beta_3' &= 16\tau_n\tau_{c2} \left( \tau_n(\tau_{c2} - 2\tau_{c1} + 1) + \frac{2\tau_{c1}}{1-d_{жс}} + 1 \right) - 1 \\ \beta_3' &= 8\tau_n\tau_{c2} \left( 2\tau_{c1} \left( 2\tau_n \left( 2\tau_{c2}(\tau_{c1} - 2) - \frac{2(\tau_n - 1)}{1-d_{жс}} \right) \right) + 4(\tau_n - 1) \right) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

2. Запаздывание компенсируется как во внутреннем, так и во внешнем КРС.

Передаточные функции корректирующих звеньев  $W_{кз1}(z)$  и  $W_{кз2}(z)$  соответственно определяются согласно выражениям (1) и (2).

$$f = \frac{1+d_{жс}}{1-d_{жс}}, \tau_{c1} = \frac{1}{2} \left( f + 1 + \sqrt{(f+1)^2 + 1} \right), \tau_{c2} = \frac{1}{2} \left( 2\tau_{c1} - 1 + \sqrt{(2\tau_{c1} - 1)^2 + 1} \right), \tau_n = 2\tau_{c2} + 1,$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_1'^2 - 2\beta_2' &= 2 \\ \beta_2'^2 - 2\beta_1'\beta_3' &= 16\tau_n\tau_{c2} \left( (2\tau_{c2} + 1)(\tau_{c2} - \tau_{c1} + 1) - \tau_{c1} \left( 2\tau_{c2} - \frac{1+d_{жс}}{1-d_{жс}} \right) \right) + 1 \\ \beta_3' &= 8\tau_n\tau_{c2} \sqrt{\tau_{c1} \left( \tau_{c1} - \frac{2}{1-d_{жс}} \right)} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

3. Запаздывание компенсируется во внутреннем и учитывается при настройке внешнего КРС.

$W_{кз1}(z)$  определяется по выражению (1), а  $W_{кз2}(z) = 0$ .

$$f = \frac{1+d_{жс}}{1-d_{жс}}, \tau_{c1} = \frac{1}{2} \left( f + 1 + \sqrt{(f+1)^2 + 1} \right), \tau_{c2} = \frac{1}{2} \left( 2\tau_{c1} + 1 + \sqrt{(2\tau_{c1} + 1)^2 + 1} \right), \tau_n = 2\tau_{c2} - 1,$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_1'^2 - 2\beta_2' &= 2 \\ \beta_2'^2 - 2\beta_1'\beta_3' &= 4\tau_n \left( \tau_n^3 - \tau_n + 4\tau_{c1}\tau_{c2} \left( \frac{2}{1-d_{жс}} - 2\tau_n \right) \right) + 1 \\ \beta_3' &= 8\tau_n \sqrt{\tau_{c2}\tau_{c1} \left( \tau_{c2} \left( \tau_{c1} - \frac{2}{1-d_{жс}} \right) + \frac{2}{1-d_{жс}} \right)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Коэффициенты корректирующих связей для всех трех случаев определяются с учетом результатов решения систем уравнений (3)-(5) по выражениям

$$\beta_1 = \frac{T}{2} \beta_1'; \quad \beta_2 = \frac{T^2}{4} (\beta_2' + 1); \quad \beta_3 = \frac{(\beta_3' - \beta_2' + \beta_1' - 1)}{2\tau_n\tau_{c2}}$$

Результаты моделирования рассматриваемых систем приведены на рис.2, где представлены графики изменения тока якоря двигателя на начальном участке ускорения привода при  $T/T_{жс} = 2$  для комбинированных СРП с учетом запаздывания (а) и при различной структурной организации импульсной коррекции запаздывания в КРС (б,в).

Анализ результатов математического моделирования позволяет сформулировать вывод, что компенсация запаздывания в КРС является эффективным средством улучшения динамических показателей комбинированных СРП. Реализация импульсной коррекции запаздывания в КРС позволяет снизить время первого согласования тока с установившимся значением  $n_c$  на 6-7 тактов  $T$ , что приводит к увеличению быстродействия по току при обработке управляющего воздействия в 1,7-2 раза. Вне зависимости от способа

структурной реализации импульсной коррекции запаздывания в КРС динамические показатели комбинированных СРП при обработке управляющего воздействия будут одинаковы (см. рис.2,б,в). В этой связи компенсацию запаздывания в таких системах целесообразно осуществлять по структуре, когда импульсная коррекция выполнена только во внутреннем и запаздывание учитывается при настройке внешнего КРС, поскольку для её практической реализации требуется меньшее количество вычислительных операций.

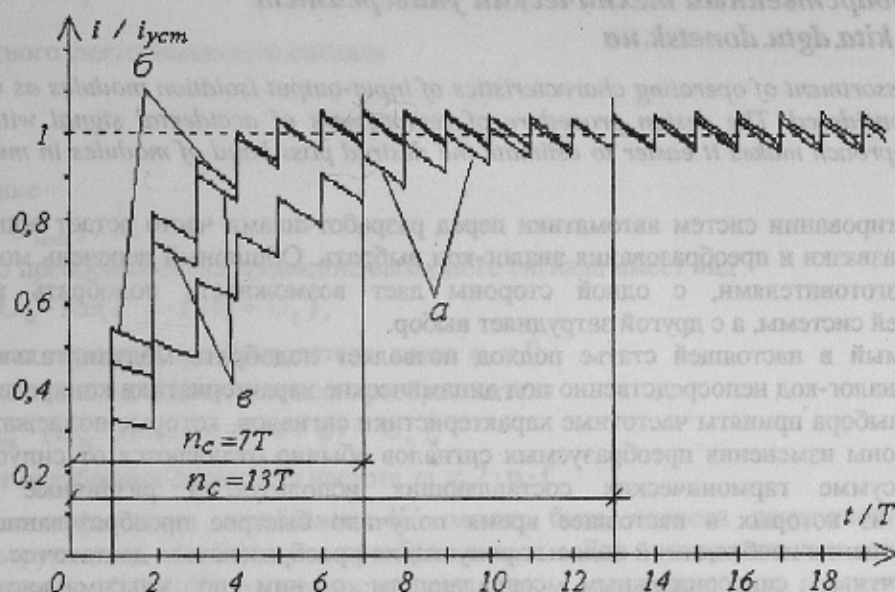


Рисунок 2 - Графики изменения тока на начальном участке ускорения в комбинированной СРП  
 а) с учетом запаздывания в КРС;  
 б) импульсная коррекция реализована только во внутреннем КРС  
 в) импульсная коррекция запаздывания реализована как во внутреннем, так и во внешнем КРС

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Коцегуб П.Х. Цифровой позиционный электропривод. //Изв. вузов. Электромеханика. 1996. №5-6. С.24-33.
2. Коцегуб П.Х., Минтус А.Н. Особенности реализации импульсной коррекции запаздывания в цифровых астатических по возмущающему воздействию системах регулирования скорости. // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика: Вестник ХПИУ. Специальный выпуск. Харьков: ХПИУ.-1998. -С.73-74.
3. Файнштейн В.Г., Файнштейн Э.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 240 с.